Meddel. Comm. f. Havforsk.

LIBRARY
FISH & WILDLIFE SERVICE
PACIFIC OCEANIC FISHERY
INVESTIGATIONS

# MEDDELELSER

FRA

# KOMMISSIONEN FOR HAVUNDERSØGELSER

SERIE: **HYDROGRAFI** · BIND II

---

Nr. 2. J. P. Jacobsen: BEITRAG ZUR HYDROGRAPHIE DER DÄNISCHEN GEWÄSSER

---

KØBENHAVN
I KOMMISSION HOS O. A. REITZEL
Trykt hos J. Jørgensen & Co. (M. A. Hansen)
1918

MEDDELELSER FRA KOMMISSIONEN FOR HAVUNDERSØGELSER
SERIE: HYDROGRAFI · BIND II · NR. 2 · 1913

# BEITRAG ZUR HYDROGRAPHIE DER DÄNISCHEN GEWÄSSER

VON

J. P. JACOBSEN

MIT 47 TABELLEN, 17 TEXTFIGUREN UND 14 TAFELN

KØBENHAVN
KOMMISSION HOS C. A. REITZEL
TRYKT HOS J. JØRGENSEN & CO. (M. A. HANNOVER)
1913

# INHALT


Seite

Einleitung . . . . . 1
Prozentuale Häufigkeit und mittlere Stärke des Oberflächenstroms nach den verschiedenen Richtungen bei dänischen Feuerschiffen . . . . . 3
Berechnung des resultierenden mittleren Stroms eines Monats . . . . . 9
Die Abhängigkeit des resultierenden mittleren Stroms vom Winde . . . . . 11
Jährliche und halbjährliche Periode des Oberflächenstroms . . . . . 42
Ströme in der Tiefe . . . . . 58
Die Bewegung des Meerwassers und die innere Reibung . . . . . 69
Bestimmung der inneren Reibung mittels des Stroms und des horizontalen Dichtigkeitsgradienten . . . . . 70
Bestimmung der Neigung der Oberfläche des Wassers zwischen dem Grossen Belt und dem Kattegat . . . . . 74
Bestimmung der inneren Reibung im Gewässer bei Schultz' Grund . . . . . 76
Bestimmung der Mischungsintensität . . . . . 77
Methode zur Bestimmung des Stroms in der Tiefe . . . . . 79
Die Gezeitenwelle im Kattegat . . . . . 80
Einfluss der Reibung auf die Gezeitenbewegung am Boden . . . . . 91

# EINLEITUNG

Schon früh herrschte in den Dänemark umgebenden Gewässern ein reger Verkehr von sowohl dänischen als fremden Schiffen, und somit war auch bereits vor langer Zeit eine ziemlich genaue Kenntnis der Tiefenverhältnisse erforderlich, namentlich im Kattegat und in den Belten, da sich an vielen Orten Untiefen finden, durch die der Schiffsverkehr behindert wird.

Ausserdem hat man sich im Laufe der Zeit naturgemäss einige Kenntnisse verschaffen müssen von der Bewegung des Oberflächenwassers durch Versetzungen der Schiffe während der Fahrt.

Im sog. Dänischen Lotsen (Den danske Lods), der vom dänischen Seekartenarchiv (Det danske Søkortarkiv) herausgegeben wird, findet sich eine kurzgefasste Darstellung der Stromverhältnisse in den dänischen Gewässern mit mehreren guten Aufschlüssen über die lokalen Stromverhältnisse.

Die älteren Ausgaben dieses Wegweisers für den Verkehr in den dänischen Gewässern enthalten auch Angaben über die Stromverhältnisse, die in den Hauptzügen zwar richtig sind, aber in einer Beziehung, nämlich in betreff des Stroms in der Tiefe, jedenfalls als irrtümlich zu betrachten sind. Vom Strom im Kattegat heisst es in der ersten Ausgabe von 1843 Seite 5[1]): »Die Erfahrung hat aufs allerbestimmteste dargetan, dass der Strom sich in der Regel nach dem Winde richtet, jedoch nicht immer nach dem jeweilig herrschenden, sondern oft nach dem, der herrschen wird, mitunter sogar nach dem, der anderswo herrscht, wenn er auch nicht immer durch weht«.

Später wird hinzugefügt, dass man aus dem Strom an der Küste von Bohuslän mit »ziemlicher Zuverlässigkeit« die Windveränderungen prognostizieren kann.

Ferner heisst es Seite 5: »Wo sie [die Ströme] einander passieren, sieht man Stromschneidungen oder sog. »Nirer«, die meistens Linien in NO und SW, mitunter in O und W bilden, und es herrscht an der südlichen Seite Strom aus Süden, an der nördlichen und westlichen Seite dagegen Strom aus Norden, was die Schiffe, namentlich die kreuzenden, oft mit Vorteil benutzen können. — Bekommt der Strom aus Norden die Oberhand, so geschieht dies meistens nur in der Nähe der Oberfläche, und der Strom aus Süden herrscht dann darunter oft mit noch mehr Kraft, teils infolge des Drucks der Atmosphäre, teils wegen des aus der Ostsee ausströmenden Wassers«.

Diese Ansicht, dass sich in den unteren Schichten ein Strom aus Süden findet, obgleich der Strom an der Oberfläche aus Norden kommt, wird in der nämlichen Darstellung bei der Besprechung des Sundes, Seite 104, wiederholt.

Während das von der Richtung und Stärke des Oberflächenstroms angeführte haupsächlich richtig ist, hatte man offenbar die Vorstellung, dass der Bodenstrom im Kattegat aus Süden kommt, auch wenn der Oberflächenstrom aus Norden kommt; dies ist nicht richtig; das rechte Verhältnis geht deutlich aus den Messungen der späteren Jahre hervor, die teils vom dänischen meteorologischen Institut von Feuerschiffen aus, teils von der Kommission für Meeresuntersuchungen (Kommissionen for Havundersøgelser) von besonderen Untersuchungsschiffen aus an bestimmten Stationen angestellt worden sind.

[1]) Wiederaufgedruckt in den späteren Ausgaben von 1850 und 1866.

Während seit 1880 vom Meteorologischen Institut [1]) von den verschiedenen Feuerschiffen aus Beobachtungen angestellt werden über Stärke und Richtung des Stroms an der Oberfläche, ist das Verfahren, nach dem der Strom in den unteren Schichten bestimmt wird, meistens ein indirektes, indem man aus der Betrachtung der Temperatur und Salzgehaltverteilung zu verschiedenen Zeiten in betreff der Bewegung des Wassers Schlüsse zieht.

Die ersten auf diesem Wege gewonnenen Beiträge zum Verständnis des Wasserumsatzes in den Dänemark umgebenden Gewässern verdanken wir den schwedischen Hydrographen. Den Anfang machte F. L. Ekman, der bereits 1868 an der Küste von Bohuslän hydrographische Untersuchungen anstellte, und dessen Hauptexpedition 1877 im Skagerak, Kattegat und in der Ostsee stattfand. Das grosse auf dieser Expedition eingesammelte Material gelang es ihm nicht zu bearbeiten, bevor der Tod ihn ereilte; die Bearbeitung wurde 1893 von Otto Pettersson herausgegeben [2]).

In Gemeinschaft mit Gustav Ekman veröffentlichte Otto Pettersson 1891 einen Bericht [3]) über die schwedische Winterexpedition von 1890. Diese Arbeit enthält eine Untersuchung über Verteilung des Salzgehalts und der Temperatur im Skagerak und Kattegat, und es wird dargetan, wie man auf Grund dieser Verhältnisse bestimmen kann, woher die vorgefundenen Wassermassen stammen.

Ein ähnliches Verfahren hat Martin Knudsen zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Bodenstroms im Kattegat angewandt [4]). Die Zeit, die das Bodenwasser bei Schultz's Grund verbraucht hat, um von Skagen dort hin zu gelangen, wird zu ca. 7 Wochen angesetzt.

In derselben Arbeit hat Martin Knudsen auf Grund einiger vom Meteorologischen Institut angestellten Beobachtungen untersucht, wie die Ausströmungen aus der Ostsee vom Luftdruck über der Ostsee und vom Winde abhängen.

Während die Bewegung des Wassers in allen diesen Arbeiten auf indirektem Wege bestimmt wurde, hat A. W. Cronander in zwei Arbeiten [5]) eine Reihe Strommessungen von einzelnen Feuerschiffen im Kattegat aus veröffentlicht, von denen namentlich die Messungen vom Feuerschiff Fladen aus von Interesse sind, indem sie zeigen, dass der Strom hier gewöhnlich von der Oberfläche bis auf den Grund dieselbe Richtung hat.

Nachdem Die internationalen Meeresuntersuchungen in Gang gekommen sind, ist von verschiedenen Seiten auch eine wesentlich grössere Arbeit auf die Untersuchung der Gewässer um Dänemark eingesetzt worden, und es sind mehrere Arbeiten über die Hydrographie dieser Gewässer veröffentlicht worden. Von Untersuchungen, die auf direkten Strommessungen beruhen, gibt es aber nur wenig, abgesehen von den Messungen des Oberflächenstroms bei Feuerschiffen, die vom dänischen meteorologischen Institut ausgeführt und noch fortgesetzt werden.

Helland-Hansen [6]) hat 1906 an 4 Stationen im Skagerak Strommessungen ausgeführt; im Sund, im Grossen Belt und im Kleinen Belt hat 1907 O. Pettersson [7]) Strommessungen in der Tiefe ausgeführt.

Diese Strommessungen waren im wesentlichen auf das Studium der Gezeitenwelle, teils in der Oberschicht, teils in der Unterschicht, berechnet; sie erstreckten sich aber nur über wenig Tage.

Eine Behandlung der dänischen Strombeobachtungen von Feuerschiffen aus ist von der Deutschen Seewarte unternommen worden [8]). Die bei den verschiedenen Feuerschiffen gemessenen Stromstärken

[1]) Nautisk-meteorologisk Aarbog udgivet af det danske meteorologiske Institut.

[2]) F. L. Ekman och O. Pettersson: Den svenska hydrografiska ekspeditionen 1877. Kongl. svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, Bd. 25, No. 1. Stockholm 1893.

[3]) Otto Pettersson och Gustav Ekman: Grunddragen af Skagerracks och Kattegats hydrografi. Kongl. svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, Bd. 24, Nr. 11. Stockholm 1891. Dieser Aufsatz bespricht die früheren Expeditionen in den Dänemark umgebenden Gewässern, und wir verweisen diesbezüglich darauf.

[4]) Martin Knudsen: De hydrografiske Forhold i de danske Farvande indenfor Skagen i 1894—1898. Beretning fra Kommissionen for videnskabelig Undersøgelse af de danske Farvande. 2. Bd. 2. Hæfte, København 1899.

[5]) A. W. Cronander: On the laws of movement of sea-currents and rivers, Norrköping 1898. — Om ytström och bottenström i Kattegat. Kongl. svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, Bd. 38, No. 2, Stockholm 1904.

[6]) B. Helland-Hansen: Current measurements in 1906. Bergens Musæums Aarbog 1907 Nr. 15.

[7]) O. Pettersson: Strömstudier vid Östersjöns portar. Svenska hydrografisk biologiska Kommissionens Skrifter III.

[8]) Oberflächenströmungen im Kattegatt, Sund und in der westlichen Ostsee. Annalen der Hydrographie 1906, S. 265.

sind tabellarisch mit dem Winde bei Skagens Rev zusammengestellt, wenn dessen Stärke nach Beauforts Skala (0—12) grösser als 6 war; dadurch sind die Stromrichtungen und äusseren Grenzen der Stromstärke gefunden worden, die einem Winde der Stärke über 6 aus einer bestimmten Richtung (NO, SO, SW oder NW) entsprechen.

Im Juni 1909 wurden im Langelandsbelt vom dänischen Untersuchungsdampfer Thor Strommessungen angestellt; es wurde für jeden fünften Meter gemessen; die Messungen geschahen gewöhnlich ca. 20 mal in 24 Stunden in jeder Tiefe; aus diesen Messungen war es möglich, teils die wichtigsten Gezeitenperioden des Stroms, teils den mittleren Strom der verschiedenen Tiefen dieses Gewässers zu bestimmen [1]).

Ein Teil der Strommessungen aus dem Langelandsbelt wurde mit dem Libellenstrommesser [2]) ausgeführt, und da nach den gewonnenen Resultaten zu vermuten war, dass dieser von Feuerschiffen aus angewendet werden konnte, sind in den letzten Jahren für die Kommission für Meeresuntersuchungen Messungen damit in der Tiefe von den Feuerschiffen bei Lappegrunden, Schultz's Grund, Anholt Knob aus ausgeführt worden. Ein Teil dieser Messungen wird im folgenden behandelt werden.

Ich bringe Professor Martin Knudsen meinen Dank dafür dar, dass mir die Gelegenheit geboten wurde, diese Arbeit im Hydrographischen Laboratorium anzuorden und die oft weitläufigen Berechnungen mit Beistand des Personals des Laboratoriums auszuführen.

# PROZENTUALE HÄUFIGKEIT UND MITTLERE STÄRKE DES OBERFLÄCHENSTROMS NACH DEN VERSCHIEDENEN RICHTUNGEN BEI DÄNISCHEN FEUERSCHIFFEN

Beobachtungsmaterial

Wie in der Einleitung erwähnt wurde, hat das dänische meteorologische Institut seit einer Reihe von Jahren ein grosses Beobachtungsmaterial von den dänischen Feuerschiffen aus eingesammelt. Die Beobachtungen sind in dem vom Institut herausgegebenen »Nautisk-meteorologisk Aarbog« veröffentlicht; seine gegenwärtige Form hat dies Jahrbuch seit 1897. In gegenwärtiger Arbeit wurden die Beobachtungen aus diesem und den folgenden Jahren benutzt.

Die Beobachtungen des Oberflächenstroms bei den dänischen Feuerschiffen sind jede vierte Stunde des Tages angestellt. Die Messungen beruhen teils auf Benutzung von Log [3]), teils auf Schätzung [4]); gewöhnlich ist doch Schätzung benutzt. Die Stärke ist in Viertelmeile/Stunden angegeben; die Richtung des Stromes ist im Jahrbuch aus den 16 Hauptrichtungen der Kompassrose (missweisend) angegeben.

Das hier benutzte Beobachtungsmaterial stammt von 11 Feuerschiffen aus den Jahren 1897—1908, was nahezu 300,000 Einzelbeobachtungen ergibt. Die Bearbeitung war in bedeutendem Grade erleichtert durch eine teilweise Bearbeitung im Jahrbuche, indem dort die Häufigkeit und die mittlere Geschwindigkeit des Stroms bei den verschiedenen Feuerschiffen in jedem Monat angeführt sind.

[1]) J. P. Jacobsen: Gezeitenströme und resultierende Ströme im Grossen Belt in verschiedenen Tiefen im Monat Juni 1909. Medd. fra Kom. for Havunders. Bd. I, Nr. 14, København 1910.

[2]) J. P. Jacobsen: Der Libellenstrommesser. Publications de Circonstance No. 51, København 1909.

[3]) Nautisk-meteorologisk Aarbog 1906 Seite VII.

[4]) » » » 1908 » L.

*Tabelle 1 a.* Mittlere Häufigkeit des Oberflächenstroms bei dänischen Feuerschiffen in Proz. (berechnet für 1897—1907).

Die angegebenen Richtungen sind missweisend, und der Strom wird durch die Richtung bezeichnet, wohin er geht.

| Feuerschiff | Horns Rev | Vyl | Skagens Rev | Læsø Rende | Læsø Trindel | Kobber-grunden | Anholt Knob | Schultz's Grund | Lappe-grunden | Drogden | Gjedser Rev |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lage N. Br. | 55° 34′ | 55° 24′ | 57° 46′ | 57° 13′ | 57° 26′ | 57° 09′ | 56° 46′ | 56° 09′ | 56° 04′ | 55° 33′ | 54° 28′ |
| Lage Ö. L. | 7° 20′ | 7° 45′ | 10° 43′ | 10° 42′ | 11° 16′ | 11° 23′ | 11° 52′ | 11° 11′ | 12° 37′ | 12° 43′ | 12° 10′ |
| S | 2,8 | 0,0 | 0,2 | 15,9 | 5,3 | 8,1 | 6,5 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,2 |
| SSW | 1,2 | 0,0 | 0,0 | 5,5 | 2,4 | 3,7 | 2,3 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,4 |
| SW | 1,6 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 6,5 | 5,8 | 2,2 | 3,7 | 0,0 | 33,4 | 35,7 |
| WSW | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,8 | 2,8 | 0,5 | 3,1 | 0,0 | 0,4 | 10,4 |
| W | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 6,1 | 2,4 | 0,2 | 28,6 | 0,0 | 0,4 | 0,6 |
| WNW | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3,4 | 3,0 | 0,6 | 6,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NW | 2,8 | 56,3 | 1,2 | 0,0 | 10,4 | 4,8 | 1,5 | 7,7 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |
| NNW | 51,6 | 0,2 | 1,6 | 0,0 | 9,0 | 3,1 | 1,6 | 1,4 | 65,6 | 0,0 | 0,0 |
| N | 4,7 | 0,0 | 22,7 | 6,1 | 24,9 | 7,2 | 3,4 | 4,6 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |
| NNO | 1,2 | 0,0 | 8,3 | 59,8 | 7,1 | 8,1 | 6,2 | 4,3 | 0,0 | 0,1 | 0,0 |
| NO | 1,3 | 0,0 | 21,5 | 6,6 | 6,8 | 16,8 | 16,4 | 33,6 | 0,0 | 53,4 | 0,5 |
| ONO | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 1,7 | 6,1 | 9,5 | 3,2 | 0,0 | 1,2 | 1,9 |
| O | 0,1 | 0,0 | 31,4 | 0,0 | 2,5 | 4,3 | 5,0 | 1,4 | 0,0 | 0,1 | 17,4 |
| OSO | 0,6 | 0,0 | 8,8 | 0,0 | 1,6 | 2,5 | 9,8 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 1,8 |
| SO | 2,9 | 41,3 | 2,1 | 0,0 | 5,1 | 4,3 | 20,8 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| SSO | 28,7 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 2,6 | 3,8 | 9,8 | 0,1 | 31,0 | 0,0 | 0,0 |
| Stille | 0,1 | 2,2 | 1,1 | 6,1 | 1,9 | 13,1 | 3,9 | 0,0 | 3,4 | 10,8 | 30,5 |

*Tabelle 1 b.* Mittlere Geschwindigkeit des Oberflächenstroms bei dänischen Feuerschiffen im $^{cm}/_{sec}$ (berechnet für 1897—1907).

Die angegebenen Richtungen sind missweisend, und der Strom wird durch die Richtung bezeichnet, wohin er geht.

| Feuerschiff | Horns Rev | Vyl | Skagens Rev | Læsø Rende | Læsø Trindel | Kobber-grunden | Anholt Knob | Schultz's Grund | Lappe-grunden | Drogden | Gjedser Rev |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lage N. Br. | 55° 34′ | 55° 24′ | 57° 46′ | 57° 13′ | 57° 26′ | 57° 09′ | 56° 46′ | 56° 09′ | 56° 04′ | 55° 33′ | 54° 28′ |
| Lage Ö. L. | 7° 20′ | 7° 45′ | 10° 43′ | 10° 42′ | 11° 16′ | 11° 23′ | 11° 52′ | 11° 11′ | 12° 37′ | 12° 43′ | 12° 10′ |
| S | 36 | 15 | 28 | 41 | 32 | 33 | 39 | 28 | — | 16 | 25 |
| SSW | 34 | — | 26 | 47 | 33 | 27 | 35 | 28 | — | 72 | 30 |
| SW | 27 | — | 30 | 26 | 27 | 23 | 31 | 33 | — | 56 | 36 |
| WSW | 27 | — | — | — | 29 | 21 | 30 | 42 | — | 49 | 34 |
| W | 19 | — | 23 | — | 27 | 20 | 30 | 53 | — | 33 | 25 |
| WNW | 28 | 21 | 38 | — | 30 | 21 | 30 | 42 | — | 22 | 29 |
| NW | 27 | 52 | 40 | — | 32 | 22 | 29 | 36 | — | 28 | 25 |
| NNW | 66 | 39 | 51 | 49 | 40 | 23 | 35 | 32 | 81 | 36 | 26 |
| N | 36 | 16 | 56 | 36 | 43 | 24 | 35 | 32 | — | 27 | 26 |
| NNO | 34 | — | 57 | 42 | 41 | 29 | 44 | 40 | — | 42 | 41 |
| NO | 23 | 15 | 49 | 36 | 33 | 31 | 47 | 54 | — | 46 | 37 |
| ONO | 18 | — | 42 | 33 | 33 | 29 | 43 | 42 | — | 55 | 46 |
| O | 22 | — | 53 | 31 | 26 | 26 | 35 | 35 | — | 44 | 41 |
| OSO | 23 | 23 | 69 | — | 33 | 26 | 38 | 35 | — | — | 42 |
| SO | 27 | 48 | 46 | 15 | 32 | 27 | 43 | 33 | — | 12 | 35 |
| SSO | 57 | 29 | 29 | 64 | 37 | 31 | 45 | 36 | 54 | — | 31 |

Die relative Häufigkeit des Stroms nach den verschiedenen Richtungen

Um eine Übersicht über die Häufigkeit des Stroms nach den verschiedenen Richtungen zu gewinnen, habe ich für jede Richtung aus allen für die betreffende Richtung angegebenen monatlichen mittleren Häufigkeiten in der Periode 1897—1907 mittlere Zahlen gebildet. Bei der Bildung der mittleren Zahlen wurde somit gewöhnlich durch 132 dividiert. Wurden in einzelnen Monaten keine Strombeobachtungen angestellt, was im Winter vorkommen konnte, wenn die Feuerschiffe der Eisverhältnisse wegen eingezogen wurden, verfügen wir natürlich über weniger Monate zur Bildung der mittleren Zahl; dies war aber so selten der Fall, dass man sämtliche mittlere Zahlen als gleich gut und als die prozentuale mittlere Häufigkeit des ganzen Jahres darstellend betrachten kann.

Tabelle 1 a enthält die derart berechneten Häufigkeiten in Prozent nebst dem Stilleprozentsatz; ausserdem die Lage der verschiedenen Feuerschiffe.

Graphische Darstellung der relativen Häufigkeit des Stroms nach den verschiedenen Richtungen

Eine graphische Darstellung der Häufigkeit der verschiedenen Stromrichtungen findet sich Tafel 1. An der Abszissenachse sind mit äquidistanten Zwischenräumen Punkte abgesetzt, S, SSW, SW u. s. w., welche die 16 im Jahrbuch benutzten Richtungen bezeichnen. Über diesen Punkten sind die berechneten mittleren Werte der prozentualen Häufigkeiten als Ordinaten abgesetzt. Die Entfernung zwischen zwei wagerechten Linien der Tafel entspricht der Häufigkeit von 10 %.

Man hat also eine aus einzelnen isolierten Punkten des Koordinatensystems bestehende graphische Darstellung, und wenn man z. B. annimmt, dass die Ordinate der Richtung S die prozentuale Häufigkeit der Ströme innerhalb des Winkels von S zu O bis S zu W angibt, wird man daraus sehen können, wie die Häufigkeit innerhalb der verschiedenen durch die 16 Hauptrichtungen bezeichneten Winkel schwankt.

Um indessen die Häufigkeit durch eine kontinuierte Kurve darstellen zu können, denke ich mir die Abszissenachse als einen entfalteten Kompasskreis, an dem alle Richtungen abgesetzt werden können. Dann bedeutet ein Stück ds an der Abszissenachse einen gewissen Winkel, und wird die prozentuale Häufigkeit des Stroms innerhalb dieses Winkels durch dn bezeichnet, zeichnen wir die Kurve so, dass ihre Ordinate h, dem Mittelpunkt von ds entsprechend, durch $h = \frac{dn}{ds}$ bestimmt wird, indem die Einheit von ds der Entfernung zwischen den Punkten S, SSW u. s. w. entspricht.

Schreiben wir die Gleichung als $dn = h \cdot ds$, so ist die prozentuale Häufigkeit innerhalb eines gewissen Winkels gleich dem Arealelement, das ds als Grundlinie hat und oben von der Kurve begrenzt wird. Die relative Häufigkeit z. B. des Winkels S zu O bis S zu W wird danach nicht durch eine einzelne Ordinate (SP siehe Fig. 1), sondern durch ein Arealelement bezeichnet, das von dem dem Winkel entsprechenden Stück der Abszissenachse, den beiden Ordinaten durch dessen Endpunkte und der Kurve begrenzt wird; dies Areal soll der Häufigkeit gleich sein, die durch das Areal des Rechtecks bezeichnet werden kann, mit dem erwähnten Stück der Abszissenachse als Grundlinie und der Ordinate, welche die Häufigkeit angab, als Höhe. Wird, wie angenommen, die Grundlinie des Rechtecks gleich 1 gesetzt, hat man die Häufigkeit durch dieselbe Zahl in beiden Weisen ausgedrückt.

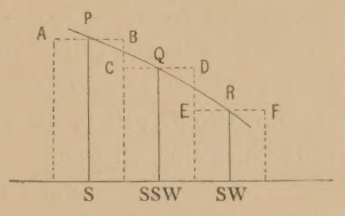


Fig. 1. Hebungen und Senkungen der Isohalinflächen im Langelandsbelt.

Bei der graphischen Ausgleichung muss man streben, diese Bedingung möglichst zu erfüllen, indem man gleichzeitig dafür sorgt, dass die Kurve so eben wie möglich wird. Es ist ersichtlich, dass man als Annäherung an die Kurve die gebrochene Linie benutzen kann, die aus den obersten Seiten der erwähnten Rechtecke und Stücken der Ordinaten besteht, welche die Grenzen dazwischen bilden. In der Figur ist diese Kurve durch ABCDEF bezeichnet.

Verbindet man die Endpunkte der Ordinaten, welche die Häufigkeit angeben (PQR . . . .), erhält man ein System von Trapezen, dessen gesamtes Areal der Summe der Rechtecke gleich ist und gleichfalls als Annäherung an die Kurve benutzt werden kann.

Wie die Ausgleichung auch ausgeführt wird, muss die Kurve die Bedingung erfüllen, dass das Areal zwischen ihr und der Abszissenachse und den beiden Ordinaten der Punkte S dem entsprechenden

Areal der gebrochenen Kurven ABC . . . . oder PQR . . . . gleich ist, die beide der Summe der relativen Häufigkeiten, d. h. 100 % ÷ des Stilleprozents gleich sind.

In den vorliegenden Fällen wird man gewöhnlich die Kurve der Verteilung der relativen Häufigkeiten auf Grund des hier entwickelten zeichnen können. Ein paar besondere Verhältnisse müssen jedoch eingehender besprochen werden.

Mitunter laufen die Ströme nur nach einer bestimmten Richtung, und es ist in dem Falle nicht aus den Beobachtungen möglich, über ihre Verteilung innerhalb des Winkels etwas zu sagen, der durch die bestimmte Hauptrichtung gekennzeichnet wird. In Taf. I ist deshalb in diesen Fällen nur das Reckteck angegeben, welches die Häufigkeit darstellt.

Die beobachtete relative Häufigkeit des Stroms nach den verschiedenen Richtungen muss infolge irrtümlicher Schätzung bei Bestimmung der Stromrichtung korrigiert werden

Bei Betrachtung der Lage der abgesetzten Punkte, namentlich von Skagens Rev und Læsø Trindel, wird man bemerken, dass die Grösse der relativen Häufigkeit oft schwankt, so dass sie am kleinsten ist für die Punkte, die SSW, WSW u. s. w. entsprechen, während sie grösser ist für die Punkte, die den Richtungen S, SW, W u. s. w. entsprechen.

Dies kann kaum auf den tatsächlichen Verhältnissen beruhen, erklärt sich aber einfach daraus, dass die Beobachter geneigt sind, bei Angabe der Stromrichtung die Hauptrichtungen zu benutzen.

Es könnte vielleicht scheinen, dass es das einfachste wäre, das Beobachtungsmaterial so zu behandeln, dass die Häufigkeiten der Richtungen SSW, WSW u. s. w. auf die übrigen Richtungen verteilt würden, so dass man nur mit diesen zu rechnen hätte.

Dies hat indessen die Schwierigkeit, dass man erstens nicht a priori weiss, wie die Verteilung auszuführen ist, und zweitens können bei einem solchen Verfahren, wie dies aus den Stromhäufigkeiten von Skagens Rev erhellen wird, wertvolle Aufschlüsse verloren gehen; man ist nämlich berechtigt, die Häufigkeiten der Richtungen SSW, WSW u. s. w. untereinander zu vergleichen, wenn man auch nicht berechtigt ist, sie direkt mit den Häufigkeiten von S, SW u. s. w. zu vergleichen.

Da aber die Beobachter immer mit allen 16 Richtungen zu rechnen pflegen, die in Tab. 1 angeführt sind, kann man davon ausgehen, dass die Ströme, die durch SSW u. s. w. bezeichnet werden, nur innerhalb eines kleineren Winkels liegen als diejenigen, die durch S, SW u. s. w. bezeichnet werden.

Das Verfahren der graphischen Ausgleichung bei Berücksichtigung der Fehler, die bei der Angabe der Stromrichtung begangen worden sind

Um bei der graphischen Ausgleichung in angemessener Weise darauf Rücksicht nehmen zu können, wollen wir untersuchen, wie die Kurve zu zeichnen ist, wenn gegeben ist, dass die für die Richtungen S, SW, W u. s. w. angegebenen Häufigkeiten tatsächlich für Ströme gelten, die nach Richtungen innerhalb solcher Winkel von $\frac{1}{16} \times 360^0 \times (1 + k)$ mit Richtungen S, SW u. s. w. als Halbierungslinien laufen, während andererseits Häufigkeiten die für die Richtungen SSW, WSW u. s. w. angegeben sind, nur für Ströme gelten, die innerhalb Winkeln von $\frac{1}{16} \times 360^0 \times (1 - k)$ mit Richtungen S, SW u. s. w. als Halbierungslinien laufen.

I Fig. 2 bezeichnet LM die ausgeglichene Kurve. Die Ordinate eines laufenden Punktes an dieser Kurve nennen wir h; wird wie früher $\frac{1}{16} \times 360^0$ als Einheit für die Winkel gerechnet, bezeichnet $SSO + \frac{1-k}{2} = S - \frac{1+k}{2}$, $S + \frac{1+k}{2} = SSW - \frac{1-k}{2}$, $SSW + \frac{1-k}{2} = SW - \frac{1+k}{2}$ u. s. w. die Grenzen für die bei den Beobachtungen benutzten Winkel; die entsprechenden Ordinaten werden bzw. $h_0$, $h_1$, $h_2$ u. s. w. bezeichnet. Die Ordinaten, die die berechneten Häufigkeiten angeben, sind in der Figur durch S—P, SSW—Q, SW—R bezeichnet und heissen p, q, r.

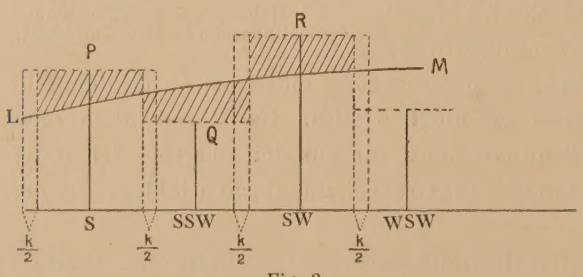


Fig. 2.

Infolge der angenommenen Voraussetzungen haben wir nun:

$$p = \int_{S-\frac{1+k}{2}}^{S+\frac{1+k}{2}} h \cdot ds; \quad q = \int_{SSW-\frac{1-k}{2}}^{SSW+\frac{1-k}{2}} h \cdot ds; \quad r = \int_{SW-\frac{1+k}{2}}^{SW+\frac{1+k}{2}} h \cdot ds,$$

wo ds ein Längenelement der Abszissenachse bezeichnet.

Unter der Voraussetzung, dass k hinlänglich klein ist, um die Ordinaten der entsprechenden ausgeglichenen Kurve als konstant betrachten zu können, hat man:

$$p - \int_{S-\frac{1}{2}}^{S+\frac{1}{2}} h \cdot ds = \frac{k}{2}(h_0 + h_1),$$

$$\int_{SSW-\frac{1}{2}}^{SSW+\frac{1}{2}} h \cdot ds - q = \frac{k}{2}(h_1 + h_2),$$

$$r - \int_{SW-\frac{1}{2}}^{SW+\frac{1}{2}} h \cdot ds = \frac{k}{2}(h_2 + h_3),$$

u. s. w.

Wie man sieht, sind die linken Seiten dieser Gleichungen, die Fig. 2 schraffierten Areale; nennt man diese bezw. $\Delta_S$, $\Delta_{SSW}$, $\Delta_{SW}$ u. s. w., so findet man

$$\Delta_S : \Delta_{SSW} : \Delta_{SW} = (h_0 + h_1) : (h_1 + h_2) : (h_2 + h_3).$$

Wenn die ausgeglichene Kurve wie eine Rechte verläuft, kann man setzen:

$$\Delta_S : \Delta_{SSW} : \Delta_{SW} = h_S : h_{SSW} : h_{SW},$$

wo $h_S$, $h_{SSW}$ u. s. w. die den Punkten S, SSW u. s. w. entsprechenden Ordinaten der ausgeglichenen Kurve entsprechen.

Wenn man die ausgeglichene Kurve dem hier entwickelten gemäss zeichnet, wird man imstande sein, aus den gefundenen mittleren Häufigkeiten vollen Nutzen zu ziehen.

Berechnung des mittleren Wertes der Stromstärke nach den verschiedenen Richtungen

Tab. 1 b enthält mittlere Werte der Stromstärke; deren Berechnung ist nur annäherungsweise, indem einfach mittlere Zahlen aller im Jahrbuch angeführten mittleren Zahlen der betreffenden Richtung berechnet wurden. Exakt wäre es, wenn die benutzten Monatsmittel der Strömstärke oder der Stromhäufigkeit für alle Monate gleich wären.

Keins von beiden ist natürlich der Fall, aber für dieselbe Richtung sind die Monatsmittel der Stromstärke doch nur wenig verschieden, und die Häufigkeiten schwanken am Ende auch nicht viel, so dass die Annäherung wahrscheinlich von den tatsächlichen Verhältnissen nicht viel abweicht.

Graphische Darstellung der mittleren Stärke des Stroms nach den verschiedenen Richtungen

Taf. I enthält eine graphische Darstellung der Stromstärke nebst Häufigkeiten. Die Entfernung zwischen 2 wagerechten Linien entspricht einer Stromgeschwindigkeit von 20 cm/sec.

Bedeutung der Schwankung der Stromhäufigkeit und Stromstärke mit der Richtung

Man sieht, dass die die Stromhäufigkeiten und Stromgeschwindigkeiten darstellenden Kurven der verschiedenen Richtungen einigermassen nebeneinander herlaufen, so dass die Maxima und Minima der beiden Kurven an derselben Stelle liegen; dies unterstützt die Annahme, dass die Ströme, die etwas zu bedeuten haben, wo von der einwärts- oder auswärtsgehenden Bewegung des Wassers in den dänischen Gewässern die Rede ist, diejenigen sind, deren Richtungen in den Winkeln liegen, wo die Häufigkeit am grössten ist; Ströme nach den anderen Richtungen be-

ruhen dagegen vielmehr auf lokalen Verhältnissen und erlangen deshalb keine so starke Entwickelung.

Zu den gefundenen mittleren Werten der Stärke des Stroms muss bemerkt werden, dass sie natürlich bei weitem nicht dasselbe Gewicht haben, da die Häufigkeiten der verschiedenen Richtungen so ungleichmässig verteilt sind.

Man wird Taf. I bemerken, dass die abgesetzten Stromstärken, die durch o bezeichnet sind, oft in ähnlicher Weise wie die Häufigkeiten, jedoch bei weitem nicht so stark wechseln, und zwar so, dass die Stromgeschwindigkeiten der Richtungen SSW, WSW u. s. w. am grössten sind; es scheint also, dass die Beobachter weniger ungeneigt sind, diese Richtungen zu wählen, wenn der Strom stärker ist.

Definition von »einwärtsgehendem« und »auswärtsgehendem« Strom

Die graphische Darstellung von Taf. I gibt einen orientierenden Überblick über die Häufigkeit und Stärke der verschiedenen Ströme; ich benutze sie zugleich zur Unterscheidung zwischen den beiden Arten von Strömen in den dänischen Gewässern, die im allgemeinen als einwärtsgehend und auswärtsgehend bezeichnet werden, das heisst, dass sie bezw. nach der Ostsee hin oder davon weg gerichtet sind.

Aus Tab. 1a ist ersichtlich, dass sich gewöhnlich zwei Maxima und zwei Minima der Stromhäufigkeit finden, und es wird somit natürlich sein, die an jedem Orte auftretenden Ströme in zwei Gruppen zu teilen, von denen jede hauptsächlich durch die Ströme vertreten wird, die in die Nähe der beiden Maxima fallen.

Im allgemeinen wird es auch leicht sein, zu entscheiden, welche von den beiden Gruppen die auswärtsgehende und welche die einwärtsgehende Bewegung vertritt. Die Grenzen zwischen den beiden Gruppen werden bei den Richtungen angesetzt, bei denen die Häufigkeit des Stroms am kleinsten ist.

Wir müssen uns jedoch bei einer solchen Definition von auswärts- und einwärtsgehendem Strom erinnern, dass die Bewegungen z. B. im Kattegat keinem schematischen Bild ausschliesslich mit Bewegungen nach der Ostsee hin und von derselben her entsprechen; es finden sich wahrscheinlich innerhalb der einzelnen Meeresgebiete rotierende Bewegungen, und an und für sich hinderte nichts, dass diese letzteren die überwiegenden wären, so dass die gefundenen Maxima hauptsächlich durch sie erzeugt wären; annehmbar werden jedoch die Richtungen der bei den Feuerschiffen und an den meisten anderen Orten auftretenden Ströme in so hohem Grade durch die Gestalt des Gewässers bedingt sein — sie gehören nun zu dem einen oder zu dem anderen Stromsystem — dass man davon ausgehen kann, dass die Wasserbewegungen, die tatsächlich nach der Ostsee hin oder von derselben weg gehen, hauptsächlich den durch die erwähnten Maxima angegebenen Richtungen folgen.

Im folgenden verstehen wir also unter auswärtsgehenden und einwärtsgehenden Strömen die am betreffenden Orte vorkommenden, in der angegebenen Weise in die beiden Gruppen geteilten Ströme.

Die Grenzen zwischen den ein- und auswärtsgehenden Stromrichtungen sind Taf. I durch } bezeichnet. In einzelnen Fällen hat es einige Schwierigkeiten bereitet, diese Grenze zu bestimmen, z. B. für Læsø Trindel, wo sich tatsächlich nur ein deutliches Minimum der Häufigkeit findet, nämlich das der Richtung O zu N. Die andere Grenze zwischen den Strömen ist als W angesetzt, was teils dadurch begründet wird, dass dies nach der Lage des Feuerschiffes als das wahrscheinlichste zu betrachten ist, teils dadurch, dass das Minimum der Stromstärke hier liegt.

Die Bewegung einer Wasserpartikel wegen des mittleren Stroms im Laufe von 3 mal 24 Stunden

Auf Grund der durch die graphische Ausgleichung Taf. I gefundenen Werte der Stärke und Häufigkeit des mittleren Stroms ist berechnet worden, wie weit eine Wasserpartikel im Laufe von 3 mal 24 Stunden von jedem der in den verschiedenen Richtungen auftretenden Ströme fortbewegt werden würde, unter der Voraussetzung, dass die Richtung der Bewegung sich nicht änderte.

Auf Taf. II sind Linien abgesetzt von den Feuerschiffen bis an den Ort, bis an welchen eine Wasserpartikel gelangt sein würde, wenn sie sich 3 mal 24 Stunden mit der mittleren Geschwindigkeit, die sich in der durch die Linie bestimmten Richtung findet, in unveränderter Richtung bewegte; es wird nur mit den 16 Hauptrichtungen gerechnet. Die Endpunkte dieser Linien sind durch eine punktierte

Kurve verbunden, wodurch man sieht, dass die Ströme gewöhnlich naturgemäss in aus- und einwärtsgehende Ströme mit wohl definierten Grenzen zerfallen.

Auf Taf. II sind ausserdem die Resultanten aller auswärtsgehenden Wasserbewegungen und aller einwärtsgehenden Wasserbewegungen je für sich abgesetzt; diese Resultanten stellen somit dar, wie weit sich eine Wasserpartikel im Laufe von 3 mal 24 Stunden bewegt haben würde, wenn sie bezw. von den auswärtsgehenden Strömen allein oder von den einwärtsgehenden Strömen allein beeinflusst gewesen wäre, vorausgesetzt dass alle Ströme in den 3 mal 24 Stunden in ihrer mittleren Häufigkeit und mittleren Geschwindigkeit aufträten.

Zieht man schliesslich die beiden Resultanten der auswärtsgehenden und der einwärtsgehenden Wasserbewegung voneinander ab, so erhält man die resultierende Wasserbewegung.

Der Grund dazu, dass die Wasserbewegung auf die Periode von 3 mal 24 Stunden bezogen wird, ist nur, dass die Linien, die Taf. II die resultierenden Geschwindigkeiten darstellen, dadurch angemessene Längen erhalten.

*Tabelle 2.*

| Feuerschiff | Grenzen des aus- und einwärtsgehenden Stroms Missweis. Richtung[1]) | Resultante auswärtsgehender Ströme Missweis. Richtung[1]) | Stärke cm/sec | Resultante einwärtsgehender Ströme Missweis. Richtung[1]) | Stärke cm/sec | Differenz |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Horns Rev | N 79 O — S 79 W | S 21 O | 18 | N 22 W | 37 | —19 |
| Vyl | N 45 O — S 45 W | S 45 O | 21 | N 45 W | 29 | — 8 |
| Skagens Rev | S 68 W — N 68 O | N 19 O | 28 | S 76 O | 26 | 2 |
| Læsø Rende | N 79 W — S 79 O | N 22 O | 29 | S 4 W | 11 | 18 |
| Læsø Trindel | W — N 79 O | N 5 W | 21 | S 8 W | 6 | 15 |
| Kobbergrunden | S 79 W — S 79 O | N 31 O | 11 | S 1 W | 6 | 5 |
| Anholt Knob | W — O | N 41 O | 16 | S 37 O | 18 | — 2 |
| Schultz's Grund | N 11 W — S 11 O | N 44 O | 19 | N 84 W | 22 | - - 3 |
| Lappegrunden | S 68 W — N 68 O | N 22 W | 53 | S 22 O | 16 | 37 |
| Drogden | N 45 W — S 45 O | N 46 O | 24 | S 45 W | 19 | 5 |
| Gjedser Rev | S 11 O — N 11 W | S 51 W | 17 | N 88 O | 9 | 8 |

In Tab. 2 ist die Wasserbewegung in gewöhnlicher Weise auf die Sekunde bezogen und in Zentimetern ausgedrückt. Die Bezeichnungen aus- und einwärtsgehende Wasserbewegung verstehen sich wie oben. Ausserdem sind in der Tabelle die Grenzen des aus- und einwärtsgehenden Stroms angegeben. Der Strom ist mit der missweisenden Richtung angegeben, nach der er läuft.

## BERECHNUNG DES RESULTIERENDEN MITTLEREN STROMS EINES MONATS

Definition des Ausdrucks »resultierender mittlerer Strom eines Monats«

Unter dem im folgenden angewendeten Begriff »resultierender mittlerer Strom eines Monats« ist die Grösse zu verstehen, die man für einen bestimmten Ort gewinnt, wenn man die in einem Monat angestellten Strombeobachtungen (ca. 180) in folgender Weise behandelt:

1) die nach 16 Richtungen aufgeführten Ströme werden in aus- und einwärtsgehende geteilt.

2) die Resultante der auswärtsgehenden Ströme wird gefunden und durch die Gesamtanzahl der Strombeobachtungen dividiert.

[1]) Die Richtungen geben an, wohin der Strom geht.

3) die Resultante der einwärtsgehenden Ströme wird gefunden und durch die Gesamtanzahl der Strombeobachtungen dividert.

4) die sub 2) und 3) gefundenen Resultanten werden voneinander subtrahiert ohne Berücksichtigung der Richtung.

Diese Subtraktion der beiden Ströme ohne Berücksichtigung ihrer Richtung wird dadurch begründet, dass der auswärtsgehende Strom, auch wenn lokale Verhältnisse so auf die Ströme wirken, dass ihre Richtungen nicht in Verlängerung voneinander fallen, doch an und für sich der Vertreter der Wassermassen ist, die sich in der einen Richtung bewegen; der einwärtsgehende Strom ist der Vertreter der sich in der anderen Richtung bewegenden Wassermassen. Wenn man also wünscht, einen Ausdruck für die Wassermenge zu finden, die nach der einen oder der anderen Seite geführt worden ist, so erhält man einen solchen wahrscheinlich am besten, wenn man sie einfach voneinander abzieht, statt z. B. ihre geometrische Differenz zu bilden.

Berechnung des resultierenden mittleren Stroms eines Monats

Zur Berechnung des mittleren Stroms der Monate wurde die vorläufige Bearbeitung im Nautisk-meteorologisk Aarbog benutzt. Hier ist für jeden Monat die Häufigkeit in Prozenten berechnet für die Ströme aus den Richtungen N, NNO, NO u. s. w. sowie die mittlere Geschwindigkeit in Viertelmeile/Stunden für die in diesen Richtungen in dem betreffenden Monat auftretenden Ströme. Diese prozentualen Häufigkeiten und mittleren Werte des Stroms wurden für jede einzelne Richtung miteinander multipliziert und durch 100 dividiert, wodurch man die mittleren Werte der Ströme aus den verschiedenen Richtungen im betreffenden Monat erhielt. Darauf wurde die Resultante sämtlicher mittleren Werte, die innerhalb des Winkels der auswärtsgehenden Ströme lagen, durch geometrische Addition bestimmt, und ebenso wurde in betreff der einwärtsgehenden Ströme verfahren.

Die so berechneten monatlichen mittleren Werte des auswärtsgehenden und des einwärtsgehenden Stroms samt deren arithmetischer Differenz sind, in cm/sec umgesetzt, in den Tabellen 5—15 aufgeführt.

Genauigkeit des gefundenen mittleren Wertes des resultierenden Stroms

Es wird von Interesse sein, sich eine Meinung darüber zu bilden, mit welcher Genauigkeit diese mittleren Werte bestimmt worden sind. Die Beobachtungen fanden jede vierte Stunde statt, also in einer Anzahl von ca. 180 pr. Monat. Ihre Grösse ist in Viertelmeile/Stunden mit einer Dezimalstelle angegeben. Die Beobachtungen wurden, wie angeführt, von den Offizieren der Feuerschiffe hauptsächlich durch Schätzung gefunden.

Die absolute Genauigkeit ist wahrscheinlich etwas abhängig von der Stromstärke, aber für Ströme um 1 Viertelmeile/Stunde kann man veilleicht den mittleren Fehler einer einzelnen Beobachtung zu 0,1 à 0,2 Vierteilmeile/Stunde ansetzen. Nimmt man an, dass bei der Richtungsbestimmung keine Fehler eingeführt werden, die sich in wesentlichem Grade bei der Berechnung der Resultanten geltend machen, und dass die Richtungen also als richtig betrachtet werden können, so ist der mittlere Fehler des mittleren Wertes einer einzelnen Richtung obengenannter mittlerer Fehler, dividiert durch die Quadratwurzel der Anzahl der Beobachtungen einer bestimmten Richtung, indem wir die Beobachtungen als Wiederholungen betrachten und nur die Unterschiede zwischen ihnen berücksichtigen, die auf Beobachtungsfehlern beruhen.

Die Anzahl der Beobachtungen der einzelnen Richtungen ist sehr verschieden. Für Horns Rev z. B. geht ungefähr die Hälfte, für Læsø Trindel ungefähr ein Viertel und für Kobbergrunden ungefähr ein Sechstel der Ströme nach einer Richtung. Man kann also in diesen Fällen mit bzw. 90, 45 und 30 Beobachtungen nach der Richtung rechnen, wo die meisten vorliegen. Rechnen wir mit dem mittleren Fehler 0,2 Viertelmeile/Stunde für die einzelne Beobachtung, so ist der mittlere Fehler dieser mittleren Zahlen wegen Beobachtungsfehler 0,02, 0,03 und 0,04 Viertelmeile/Stunde.

Da die mittleren Zahlen im Aarbog mit einer Genauigkeit von 0,1 Viertelmeile/Stunde angegeben sind, so wird dadurch ein Abrundungsfehler eingeführt, der für die hier berechnete mittlere Zahl einen mittleren Fehler von $\frac{0{,}05}{\sqrt{3}} = 0{,}03$ ergibt, der also in den genannten Beispielen von derselben Grössen-

ordnung ist wie der von den Beobachtungsfehlern herrührende mittlere Fehler. Zusammen werden sie einen mittleren Fehler der mittleren Zahl erzeugen, den wir als $\sqrt{0{,}03^2 + 0{,}03^2} = 0{,}04$ Viertelmeile/Stunde ansetzen können.

Für die Orte, wo die Strombeobachtungen in zwei bestimmte Hauptrichtungen fallen, und wo sich ausserhalb derselben nur wenig Beobachtungen finden, bekommt man also für jede Resultante einen mittleren Fehler dieser Grössenordnung 0,04 Viertelmeile/Stunde; für die Differenz zwischen ihnen ergibt sich der mittlere Fehler $0{,}04 \times 1{,}4$ Viertelmeile/Stunde, d. h. 3 cm/sec.

Nach dieser Betrachtung stellen sich die Verhältnisse etwas günstiger, wo die Beobachtungen sich über mehrere Richtungen verteilen, indem der mittlere Fehler, der durch die Abrundungsfehler entsteht, durch die Zusammensetzung der Stromkomponenten der verschiedenen Richtungen vermindert wird; der mittlere Fehler der Resultante, welcher von den Beobachtungsfehlern herrührt, muss dagegen von derselben Grössenordnung sein, als wenn sich die Ströme auf wenig Richtungen sammeln, und der gesamte mittlere Fehler wird daher wohl auch ungefähr derselbe sein wie oben.

Wo die Ströme durchgehends schwach sind, und wo man deshalb wahrscheinlich eine grössere absolute Genauigkeit der Beobachtungen voraussetzen muss, kann der mittlere Fehler aus dem Grunde vielleicht etwas reduziert werden. Andererseits sind bei schwachen Strömen die Grenzen zwischen aus- und einwärtsgehenden Strömen weniger ausgeprägt, z. B. bei Kobbergrunden, und überhaupt verteilen die schwachen Ströme sich gewöhnlich auf so viele Richtungen, dass methodische Fehler daraus entstehen können, dass nur mit einer einzelnen Hauptrichtung gerechnet wird, und dass die in dieser Richtung gefundene Resultante als für die Wasserbewegung an diesem Orte massgebend betrachtet wird.

## DIE ABHÄNGIGKEIT DES RESULTIERENDEN MITTLEREN STROMS VOM WINDE

Die berechneten faktischen Monatsmittel des aus- und einwärtsgehenden Oberflächenstroms geben einen zusammengedrängten Ausdruck davon ab, wie die Wasserbewegung der dänischen Gewässer in grossen Zügen von statten geht, und wie sie zu bestimmten Zeiten war.

Neben der Bedeutung, die es haben kann, diese faktischen Verhältnisse zu kennen, wird es von Wichtigkeit sein, einen Zusammenhang zu finden zwischen den mittleren Werten des Stromes und sonst auftretenden Erscheinungen, die deren Grösse bedingen können.

Vor der Hand liegt es, eine Ursache der Wasserbewegung im Winde zu suchen, und wie in der Einleitung erwähnt, sind auch früher Untersuchungen über diesen Zusammenhang in den dänischen Gewässern angestellt worden.

Wittings Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Strom und Wind

In einer Arbeit von Rolf Witting [1]) ist auf Grund einer Reihe von insgesamt 5693 Beobachtungen dargetan worden, dass bei mehreren Stationen der Ostsee, einer Station im Ladogasee und bei Kobbergrunden im Kattegat der vom Winde hervorgerufene Strom mit nicht geringer Annäherung der Quadratwurzel des Windes proportional angesetzt werden kann, der augenblicklich am betreffenden Orte weht, indem der Wind in halben Beaufort-Einheiten (0—12) ausgedrückt wird.

[1]) Zur Kenntnis des vom Winde erzeugten Oberflächenstromes. Annalen der Hydrographie 1909 Seite 193.

Da das Gesetz sich als für Kobbergrunden geltend erwiesen hat, ist es natürlich zu versuchen, es auch auf die anderen Orte anzuwenden, da aber Kobbergrunden verhältnismässig frei liegt, muss man darauf vorbereitet sein, dass die oft sehr verwickelte Form der Gewässer einen störenden Einfluss ausübt.

Bei Anholt Knob Feuerschiff bewirkt z. B. Anholt Rev, dass der Strom fast immer gegen die östliche Seite der Kompassrose gerichtet ist.

In Wittings Arbeit wird vorausgesetzt, dass die Stromstärke der verschiedenen Azimute durch die Radii vectores einer Ellipse dargestellt werden kann, wo die Hauptrichtungen der aus- und einwärtsgehenden Ströme in der Verlängerung voneinander liegen.

Dies lässt sich offenbar nicht direkt auf solche Stromverhältnisse übertragen, wie man sie z. B. bei Anholt Knob hat, wo die Hauptrichtungen der aus- und einwärtsgehenden Ströme bzw. N 41 O und S 37 O (siehe Tab. 2) sind.

Da sich aber der Strom an den meisten Orten im wesentlichen in den beiden Hauptrichtungen »auswärtsgehend« und »einwärtsgehend« bewegt, die nur nicht immer in der Verlängerung voneinander liegen, so können wir die Differenz zwischen den Komponenten der auswärtsgehenden und einwärtsgehenden Ströme in diesen Richtungen allein als für die Wasserbewegung an den verschiedenen Orten massgebend betrachten. Dreht man die eine der Richtungen, so dass sie in die Verlängerung voneinander zu liegen kommen, bekommt man eine Analogie der Stromrichtungen die in Wittings Arbeit durch die grosse Achse der Stromellipse dargestellt sind; da sich ausserdem an mehreren der Orte, wo die Strombeobachtungen angestellt wurden, nur zwei Richtungen finden, die in der Verlängerung voneinander liegen, ist die Annahme wahrscheinlich, dass der von Witting gefundene Zusammenhang zwischen Wind und Strom an der Oberfläche auch hier besteht, wenn man auch in so verwickelten Gewässern wie in den dänischen, im Vergleich mit den Orten, die im wesentlichen das Wittingsche Beobachtungsmaterial abgegeben haben, grösserer Abweichungen gewärtig sein muss.

Dass die Richtungen der sub 2) und 3) Seite 9—10 bestimmten Resultanten nicht für jeden Monat ganz dieselben sind, hat in dieser Beziehung keine nennenswerte Bedeutung; die Projektion der gefundenen Resultanten auf feste Richtungen, durch die Lage der Hauptrichtungen bestimmt, wird innerhalb der Fehlergrenzen, mit denen man aus anderen Gründen rechnen muss, den Resultanten selbst gleich sein.

Verfahren der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Wind und Strom

Es ist nun unsere Aufgabe, zu finden, welchen Einfluss jede Windrichtung der achtteiligen Kompassrose auf den oben definierten mittleren Strom ausgeübt hat.

Nehmen wir mit Witting an, dass ein Wind von bestimmter Stärke und Richtung einen Strom von bestimmter Stärke und Richtung ergibt, und dass die Stärke des Stroms der Quadratwurzel der Stärke des Windes nach Beaufort (0—12) proportional ist, können wir also

$$S = K \cdot \sqrt{v}$$

setzen, wo S die Stromstärke, v die Windstärke und K eine Konstante bezeichnen.

Wegen der vom Meteorologischen Institut angestellten Bearbeitung der Windbeobachtungen von den Feuerschiffen aus, wird es bequem sein, statt der Funktion $\sqrt{v}$ eine lineare Funktion der Abhängigkeit des Stroms vom Winde zu haben.

Wir setzen deshalb

$$s = k\,(v + m)$$

wo k und m Konstanten sind.

Sollen S und s für die Windstärken 2 und 4 gleich gross sein, hat man $m = 2{,}83$; wird auf 3 abgerundet, so ist die Stromstärke ausgedrückt durch

$$S = K\sqrt{v} \text{ oder } s = k\,(v + 3).$$

Sollen S und s für die Windstärke 4 gleich sein, so ist $K = 3{,}5 \cdot k$, also

$$S = k \cdot 3{,}5\sqrt{v},$$
$$s = k \cdot (v + 3).$$

Die beiden Grössen $3{,}5\sqrt{v}$ und $(v+3)$ sind tatsächlich nicht sehr verschieden, die stärksten Windstärken ausgenommen; dies sieht man aus Tab. 3.

*Tabelle 3.* Windstärke nach Beaufort (0—12)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $3{,}5\sqrt{v}$ | 3,5 | 4,9 | 6,1 | 7,0 | 7,8 | 8,6 | 9,3 | 9,9 | 10,5 | 11,1 | 11,6 | 12,1 |
| $v+3$ | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 10,0 | 11,0 | 12,0 | 13,0 | 14,0 | 15,0 |

Die Übereinstimmung der beiden Funktionen ist für die niedrigeren Windstärken so gross, dass man sicherlich in dem vorliegenden Falle eben so gut die eine Funktion wie die andere anwenden kann. Die Funktion $\sqrt{v}$ wurde von Witting nur als bis zur Windstärke 6 gültig nachgewiesen.

Es wird angenommen, dass die Grösse k in der Gleichung $s = k(v+3)$ für die verschiedene Windrichtungen verschieden ist, und sie muss für jede einzelne davon durch Ausgleichung bestimmt werden.

Betrachten wir vorläufig nur Winde aus einer bestimmten Richtung; wir bezeichnen die Stärke der in einem Monat aus dieser Richtung beobachteten Winde als $v_1, v_2, v_3 \cdots v_n$, die entsprechende Strömstärke als $s_1, s_2, s_3 \cdots s_n$; dann haben wir infolge der Theorie

$$\begin{aligned} s_1 &= k(v_1+3) \\ s_2 &= k(v_2+3) \\ &\vdots \qquad\quad \vdots \\ s_n &= k(v_n+3) \end{aligned}$$

also:

$$s_1 + s_2 + s_3 + \cdots + s_n = k(v_1 + v_2 + \cdots v_n + 3n).$$

Im Aarbog findet sich der mittlere Wert der Windstärke der verschiedenen Richtungen; hier nennen wir die mittlere Stärke $V_m$; also

$$\frac{v_1 + v_2 + v_3 + \cdots + v_n}{n} = V_m.$$

Ferner ist die prozentuale Häufigkeit p dieses Windes angegeben; hat man in einem Monat insgesamt N Beobachtungen, ist $p = \frac{n}{N} \cdot 100$. Man hat also

$$s_1 + s_2 + s_3 + \cdots + s_n = k \cdot p \cdot \frac{N}{100}(V_m + 3).$$

Für eine andere Windrichtung

$$s'_1 + s'_2 + s'_3 + \cdots + s'_t = k' \cdot p' \cdot \frac{N}{100} \cdot (V'_m + 3)$$

und so weiter für insgesamt 8 Windrichtungen.

Addieren wir diese Gleichungen und dividieren wir auf beiden Seiten durch N, so wird die resultierende mittlere Stromstärke eines Monats ausgedrückt durch

$$S_m = k\frac{p(V_m+3)}{100} + k'\frac{p'(V'_m+3)}{100} + \cdots + \text{(im ganzen 8 Glieder)},$$

insofern man sich $S_m$ als vom Winde allein abhängig vorstellt.

Da es ausser dem Winde mehrere andere Stromursachen gibt, darunter die durch die Süsswasserzufuhr in die Ostsee verursachte Ausströmung, wollen wir diese teilweise durch ein konstantes Glied C berücksichtigen.

Schreiben wir ferner statt k, k′, k″ u. s. w. n, no, o, so, s, sw, w und nw, um durch diese Bezeichnungen anzudeuten, zu welchen Windrichtungen die Konstanten gehören, so bekommen wir die Formel

$$S_m = C + n\cdot\varphi_n + no\cdot\varphi_{no} + \cdots \text{ (im ganzen 9 Glieder),}$$

indem

$$\varphi = \frac{p}{100}\cdot(V_m + 3)$$

und der Index von φ die entsprechende Windrichtung angibt.

In diesen Gleichungen gibt es also 9 unbekannte Konstanten, und indem in den Gleichungen mit Monatsmitteln gerechnet wird, erhalten wir 12 Gleichungen für jedes Jahr, also für die behandelte Periode 1897—1908 im ganzen 144 Gleichungen bei jedem Feuerschiff; oft fehlten doch ein paar Gleichungen wegen fehlender Beobachtungen. Die Konstanten wurden durch Ausgleichung gefunden und sind in Tabelle 4 aufgeführt.

*Tabelle 4.*

| Feuerschiff | C | n | no | o | so | s | sv | v | nv |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Horns Rev. . . . . | 10,0 | — 1,4 | —10,4 | 1,9 | —4,8 | — 9,7 | — 5,0 | — 6,2 | — 1,9 |
| Vyl . . . . . | 18,1 | — 6,3 | — 4,0 | —1,2 | —2,4 | — 6,3 | — 5,8 | — 5,8 | — 2,9 |
| Skagens Rev . . . . . | 69,4 | —17,3 | 1,4 | 5,8 | —4,3 | —15,3 | —15,4 | —17,1 | —14,6 |
| Læsø Rende . . . . . | 42,8 | — 6,3 | — 2,3 | 4,5 | 3,2 | 2,7 | — 4,0 | — 9,0 | —12,0 |
| Læsø Trindel . . . . . | 13,1 | — 2,7 | 4,3 | 3,3 | 7,0 | 7,6 | — 6,3 | — 3,3 | — 1,4 |
| Kobbergrunden . . . . . | —12,6 | 3,5 | 4,4 | 4,8 | 7,4 | 6,3 | 2.5 | 1,2 | — 1,0 |
| Anholt Knob . . . . . | —38,6 | 7,7 | 15,4 | 13,1 | 9,5 | 5,3 | 2,0 | 2,5 | — 0,7 |
| Schultz's Grund . . . . . | 44,7 | — 4,3 | 0,8 | —1,6 | 2,1 | — 8,1 | —11.9 | —13,1 | —12,3 |
| Lappegrunden . . . . . | 43,1 | 2,4 | 8,3 | 2,1 | 8,2 | 7,6 | — 5,2 | —12,8 | — 8,0 |
| Drogden . . . . . | 18,7 | 3,9 | 1,2 | —0,7 | 3,6 | — 0,8 | — 3,9 | —10,1 | 0,6 |

Der durch die Ausgleichung berechnete resultierende mittlere Strom

Mittels obenstehender Formel und der Konstanten der Tab. 4 ist es nun möglich, einen berechneten Wert des resultierenden mittleren Stroms eines Monats zu finden, wenn die mittlere Stärke der Winde aus den verschiedenen Richtungen und ihre Häufigkeiten bekannt sind. Diese berechneten Werte sind in den Tabellen 5—14 in der Kolumne »Resultierender Strom berechnet« für die in den Tabellen angegebenen Feuerschiffe für die Periode 1897—1908 aufgeführt.

In den Tabellen ist zugleich der resultierende auswärtsgehende mittlere Strom eines jeden Monats und der resultierende einwärtsgehende mittlere Strom aufgeführt, sowie die Differenz zwischen ihnen, die wir als den resultierenden mittleren Strom des Monats bezeichnet haben, und die also mit dem aus dem Winde berechneten Wert verglichen werden soll; auch die Differenz zwischen letzteren ist in den Tabellen aufgeführt.

Tabelle 15 enthält für Gjedser Rev dieselben Grössen wie für die anderen Feuerschiffe mit Ausnahme des aus dem Winde berechneten Wertes des Stroms, da die Methode sich für dies Feuerschiff als unbrauchbar erwies, wahrscheinlich weil sich in der Ostsee Wassermassen aufmagazinieren können und der Strom somit davon abhängig wird.

Graphische Darstellung des berechneten resultierenden mittleren Stroms

Eine graphische, den Tabellen 5—14 entsprechende Darstellung findet sich Taf. III—VII, wo der resultierende mittlere Strom eines jeden Monats und dessen berechneter Wert als Ordinate mit der Zeit als Abszisse abgesetzt sind. Die Punkte sind bzw. mit ausgezogenen und mit punktierten Linien verbunden.

Die gefundene Übereinstimmung zwischen den beobachteten und den berechneten mittleren Strömen ist so gross, dass man daraus schliessen darf, dass die Schwankung der Monatsmittel des resultierenden Oberflächenstroms bei den dänischen Feuerschiffen — mit Ausnahme von Gjedser Rev — zum grössten Teil vom Winde herrührt.

*Tabelle 5.* **HORNS REV.** 55° 34′,1 N. Br. 7° 19′,5 Ö. L.

Monatsmittel der beobachteten Ströme und entsprechende berechnete Werte.

Zur Berechnung der Stromstärke s in $^{cm}/_{sec}$ wurde folgende Formel benutzt:

$s = 10{,}0 - 1{,}4\,N - 10{,}4\,NO + 1{,}9\,O - 4{,}8\,SO - 9{,}7\,S - 5{,}0\,SW - 6{,}2\,W - 1{,}9\,NW,$

wo N, NO ... das Produkt der relativen Häufigkeit und mittleren Stärke, vermehrt durch 3 Einheiten des Windes nach Beauforts Skala (0—12) bezeichnen, indem die Buchstaben die Richtung des Windes angeben.

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 J | 19 | 35 | — 16 | — 19 | 3 | 1901 J | 16 | 39 | — 23 | — 26 | 3 | 1905 J | 20 | 40 | — 20 | — 21 | 1 |
| F | 18 | 42 | — 24 | — 17 | — 7 | F | 21 | 34 | — 13 | — 19 | 6 | F | 19 | 37 | — 18 | — 20 | 2 |
| M | 10 | 46 | — 36 | — 25 | — 11 | M | 17 | 35 | — 18 | — 19 | 1 | M | 17 | 45 | — 28 | — 26 | — 2 |
| A | 20 | 35 | — 15 | — 10 | — 5 | A | 18 | 35 | — 17 | — 15 | — 2 | A | 19 | 40 | — 21 | — 12 | — 9 |
| M | 19 | 37 | — 18 | — 18 | 0 | M | 24 | 30 | — 6 | — 6 | 0 | M | 23 | 34 | — 11 | — 16 | 5 |
| J | 23 | 31 | — 8 | — 14 | 6 | J | 22 | 31 | — 9 | — 16 | 7 | J | 25 | 34 | — 9 | — 16 | 7 |
| J | 19 | 36 | — 17 | — 13 | — 4 | J | 23 | 31 | — 8 | — 5 | — 3 | J | 23 | 32 | — 9 | — 9 | 0 |
| A | 15 | 54 | — 39 | — 23 | — 16 | A | 22 | 34 | — 12 | — 14 | 2 | A | 17 | 39 | — 22 | — 20 | — 2 |
| S | 17 | 48 | — 31 | — 21 | — 10 | S | 21 | 29 | — 8 | — 18 | 10 | S | 21 | 37 | — 16 | — 11 | — 5 |
| O | 16 | 36 | — 20 | — 18 | — 2 | O | 18 | 36 | — 18 | — 17 | — 1 | O | 17 | 40 | — 23 | — 16 | — 7 |
| N | 21 | 36 | — 15 | — 22 | 7 | N | 18 | 40 | — 22 | — 14 | — 8 | N | 21 | 38 | — 17 | — 19 | 2 |
| D | 15 | 50 | — 35 | — 26 | — 9 | D | 11 | 47 | — 36 | — 32 | — 4 | D | 23 | 31 | — 8 | — 18 | 10 |
| 1898 J | 16 | 34 | — 18 | — 24 | 6 | 1902 J | 17 | 39 | — 22 | — 24 | 2 | 1906 J | 15 | 43 | — 28 | — 28 | 0 |
| F | 12 | 44 | — 32 | — 29 | — 3 | F | 25 | 30 | — 5 | — 15 | 10 | F | 18 | 41 | — 23 | — 27 | 4 |
| M | 23 | 34 | — 11 | — 19 | 8 | M | 15 | 42 | — 27 | — 21 | — 6 | M | 19 | 41 | — 22 | — 21 | — 1 |
| A | 21 | 30 | — 9 | — 14 | 5 | A | 17 | 37 | — 20 | — 18 | — 2 | A | 21 | 31 | — 10 | — 15 | 5 |
| M | 23 | 33 | — 10 | — 17 | 7 | M | 20 | 38 | — 18 | — 15 | — 3 | M | 20 | 35 | — 15 | — 16 | 1 |
| J | 19 | 40 | — 21 | — 13 | — 8 | J | 17 | 36 | — 19 | — 12 | — 7 | J | 24 | 30 | — 6 | — 7 | 1 |
| J | 26 | 28 | — 2 | — 12 | 10 | J | 20 | 34 | — 14 | — 16 | 2 | J | 23 | 30 | — 7 | — 14 | 7 |
| A | 17 | 34 | — 17 | — 20 | 3 | A | 20 | 34 | — 14 | — 12 | — 2 | A | 20 | 32 | — 12 | — 15 | 3 |
| S | 19 | 34 | — 15 | — 16 | 1 | S | 19 | 34 | — 15 | — 15 | 0 | S | 26 | 31 | — 5 | — 8 | 3 |
| O | 24 | 31 | — 7 | — 15 | 8 | O | 20 | 34 | — 14 | — 16 | 2 | O | 14 | 40 | — 26 | — 30 | 4 |
| N | 14 | 45 | — 31 | — 26 | — 5 | N | 19 | 35 | — 16 | — 20 | 4 | N | 17 | 42 | — 25 | — 23 | — 2 |
| D | 17 | 38 | — 21 | — 32 | 11 | D | 21 | 30 | — 9 | — 16 | 7 | D | 15 | 39 | — 24 | — 25 | 1 |
| 1899 J | 17 | 43 | — 26 | — 23 | — 3 | 1903 J | 15 | 37 | — 22 | — 30 | 8 | 1907 J | 18 | 34 | — 16 | — 19 | 3 |
| F | 17 | 29 | — 12 | — 22 | 10 | F | 15 | 41 | — 26 | — 31 | 5 | F | 18 | 37 | — 19 | — 25 | 6 |
| M | 17 | 35 | — 18 | — 20 | 2 | M | 14 | 42 | — 28 | — 37 | 9 | M | 19 | 36 | — 17 | — 16 | — 1 |
| A | 18 | 43 | — 25 | — 17 | — 8 | A | 19 | 38 | — 19 | — 16 | — 3 | A | 22 | 36 | — 14 | — 8 | — 6 |
| M | 21 | 37 | — 16 | — 20 | 4 | M | 19 | 34 | — 15 | — 11 | — 4 | M | 20 | 35 | — 15 | — 12 | — 3 |
| J | 25 | 28 | — 3 | — 7 | 4 | J | 26 | 33 | — 7 | — 8 | 1 | J | 14 | 40 | — 26 | — 21 | — 5 |
| J | 22 | 32 | — 10 | — 13 | 3 | J | 17 | 48 | — 31 | — 16 | — 15 | J | 21 | 30 | — 9 | — 9 | 0 |
| A | 27 | 26 | 1 | — 7 | 8 | A | 14 | 45 | — 31 | — 21 | — 10 | A | 16 | 41 | — 25 | — 20 | — 5 |
| S | 11 | 42 | — 31 | — 21 | — 10 | S | 18 | 31 | — 13 | — 21 | 8 | S | 24 | 28 | — 4 | — 10 | 6 |
| O | 23 | 35 | — 12 | — 20 | 8 | O | 9 | 59 | — 50 | — 30 | — 20 | O | 17 | 42 | — 25 | — 21 | — 4 |
| N | 21 | 35 | — 14 | — 23 | 9 | N | 18 | 35 | — 17 | — 17 | 0 | N | 18 | 44 | — 26 | — 27 | 1 |
| D | 18 | 40 | — 22 | — 20 | — 2 | D | 16 | 36 | — 20 | — 27 | 7 | D | 19 | 38 | — 19 | — 22 | 3 |
| 1900 J | 15 | 38 | — 23 | — 21 | — 2 | 1904 J | 12 | 45 | — 33 | — 30 | — 3 | 1908 J | 22 | 35 | — 13 | — 22 | 9 |
| F | 13 | 43 | — 30 | — 17 | — 13 | F | 13 | 47 | — 34 | — 16 | — 18 | F | 18 | 42 | — 24 | — 21 | — 3 |
| M | 24 | 28 | — 4 | — 13 | 9 | M | 18 | 32 | — 14 | — 13 | — 1 | M | 15 | 56 | — 41 | — 23 | — 18 |
| A | 18 | 35 | — 17 | — 18 | 1 | A | 14 | 37 | — 23 | — 21 | — 2 | A | 20 | 35 | — 15 | — 15 | 0 |
| M | 22 | 32 | — 10 | — 13 | 3 | M | 17 | 47 | — 30 | — 20 | — 10 | M | 20 | 37 | — 17 | — 12 | — 5 |
| J | 19 | 33 | — 14 | — 16 | 2 | J | 20 | 34 | — 14 | — 11 | — 3 | J | 27 | 31 | — 5 | — 9 | 4 |
| J | 18 | 37 | — 19 | — 14 | — 5 | J | 25 | 31 | — 6 | — 12 | 6 | J | 21 | 30 | — 9 | — 10 | 1 |
| A | 20 | 38 | — 18 | — 16 | — 2 | A | 19 | 38 | — 19 | — 13 | — 6 | A | 17 | 32 | — 15 | — 15 | 0 |
| S | 18 | 33 | — 15 | — 15 | 0 | S | 23 | 29 | — 6 | — 14 | 8 | S | 18 | 35 | — 17 | — 21 | 4 |
| O | 13 | 47 | — 34 | — 22 | — 12 | O | 18 | 37 | — 19 | — 15 | — 4 | O | 24 | 23 | 1 | — 14 | 15 |
| N | 16 | 38 | — 22 | — 22 | 0 | N | 18 | 39 | — 21 | — 16 | — 5 | N | 21 | 32 | — 11 | — 22 | 11 |
| D | 14 | 47 | — 33 | — 29 | — 4 | D | 18 | 43 | — 25 | — 21 | — 4 | D | 21 | 29 | — 8 | — 20 | 12 |

Die Resultante der Ströme nach N 79 O — S — S 79 W ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet und positiv gerechnet.
» » » » » S 79 W — N — N 79 O » » einwärtsgehender » » » negativ »
Die Wind- und Stromrichtungen sind missweisend.

*Tabelle 6.* **VYL.** 55° 23',6 N. Br. 7° 45',0 Ö. L.

## Monatsmittel der beobachteten Ströme und entsprechende berechnete Werte.

Zur Berechnung der Stromstärke s in $^{cm}/_{sec}$ wurde folgende Formel benutzt:

s = 18,1 — 6,3 N — 4,0 NO — 1,2 O — 2,4 SO — 6,3 S — 5,8 SW — 5,8 W — 2,9 NW,

wo N, NO ... das Produkt der relativen Häufigkeit und mittleren Stärke, vermehrt durch 3 Einheiten des Windes nach Beauforts Skala (0—12) bezeichnen, indem die Buchstaben die Richtung des Windes angeben.

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 J | 21 | 23 | — 2 | — 3 | 1 | 1901 J | 18 | 27 | — 9 | — 12 | 3 | 1905 J | 23 | 31 | — 8 | — 13 | 5 |
| F | 20 | 28 | — 8 | — 11 | 3 | F | 19 | 26 | — 7 | — 8 | 1 | F | 20 | 33 | — 13 | — 13 | 0 |
| M | 16 | 30 | — 14 | — 11 | — 3 | M | 19 | 25 | — 6 | — 6 | 0 | M | 24 | 30 | — 6 | — 10 | 4 |
| A | 19 | 28 | — 9 | — 7 | — 2 | A | 19 | 26 | — 7 | — 6 | — 1 | A | 23 | 33 | — 10 | — 8 | — 2 |
| M | 18 | 29 | — 11 | — 9 | — 2 | M | 22 | 23 | — 1 | — 3 | 2 | M | 24 | 31 | — 7 | — 9 | 2 |
| J | 22 | 23 | — 1 | — 8 | 7 | J | 19 | 25 | — 6 | — 7 | 1 | J | 25 | 30 | — 5 | — 4 | — 1 |
| J | 18 | 27 | — 9 | — 11 | 2 | J | 23 | 28 | — 5 | — 1 | — 4 | J | 24 | 29 | — 5 | — 8 | 3 |
| A | 17 | 29 | — 12 | — 12 | 0 | A | 18 | 29 | — 11 | — 11 | 0 | A | 19 | 33 | — 14 | — 12 | — 2 |
| S | 16 | 33 | — 17 | — 13 | — 4 | S | 24 | 24 | 0 | — 2 | 2 | S | 22 | 33 | — 11 | — 8 | — 3 |
| O | 20 | 27 | — 7 | — 6 | — 1 | O | 19 | 27 | — 8 | — 8 | 0 | O | 17 | 36 | — 19 | — 12 | — 7 |
| N | 20 | 25 | — 5 | — 11 | 6 | N | 16 | 31 | — 15 | — 12 | — 3 | N | 22 | 30 | — 8 | — 9 | 1 |
| D | 18 | 28 | — 10 | — 14 | 4 | D | 14 | 34 | — 20 | — 18 | — 2 | D | 20 | 29 | — 9 | — 13 | 4 |
| 1898 J | 18 | 31 | — 13 | — 15 | 2 | 1902 J | 15 | 35 | — 20 | — 20 | 0 | 1906 J | 18 | 32 | — 14 | — 15 | 1 |
| F | 14 | 29 | — 15 | — 17 | 2 | F | 25 | 23 | 2 | — 4 | 6 | F | 17 | 36 | — 19 | — 13 | — 6 |
| M | 22 | 25 | — 3 | — 7 | 4 | M | 19 | 29 | — 10 | — 11 | 1 | M | 18 | 35 | — 17 | — 16 | — 1 |
| A | 20 | 24 | — 4 | — 4 | 0 | A | 23 | 27 | — 4 | — 3 | — 1 | A | 22 | 30 | — 8 | — 7 | — 1 |
| M | 22 | 24 | — 2 | — 9 | 7 | M | 20 | 30 | — 10 | — 9 | — 1 | M | 20 | 29 | — 9 | — 4 | — 5 |
| J | 19 | 28 | — 9 | — 9 | 0 | J | 20 | 28 | — 8 | — 2 | — 6 | J | 22 | 27 | — 5 | — 7 | 2 |
| J | 19 | 28 | — 9 | — 11 | 2 | J | 19 | 31 | — 12 | — 11 | — 1 | J | 21 | 31 | — 10 | — 8 | — 2 |
| A | 19 | 29 | — 10 | — 12 | 2 | A | 19 | 27 | — 8 | — 7 | — 1 | A | 21 | 31 | — 10 | — 9 | — 1 |
| S | 22 | 25 | — 3 | — 10 | 7 | S | 22 | 27 | — 5 | — 8 | 3 | S | 25 | 26 | — 1 | — 3 | 2 |
| O | 23 | 23 | 0 | — 6 | 6 | O | 20 | 33 | — 13 | — 11 | — 2 | O | 18 | 31 | — 13 | — 12 | — 1 |
| N | 19 | 26 | — 7 | — 11 | 4 | N | 23 | 30 | — 7 | — 6 | — 1 | N | 18 | 34 | — 16 | — 12 | — 4 |
| D | 12 | 37 | — 25 | — 22 | — 3 | D | 27 | 28 | — 1 | — 10 | 9 | D | 20 | 35 | — 15 | — 10 | — 5 |
| 1899 J | 14 | 31 | — 17 | — 14 | — 3 | 1903 J | 21 | 32 | — 11 | — 14 | 3 | 1907 J | 20 | 32 | — 12 | — 11 | — 1 |
| F | 16 | 24 | — 8 | — 10 | 2 | F | 15 | 41 | — 26 | — 23 | — 3 | F | 19 | 30 | — 11 | — 12 | 1 |
| M | 16 | 26 | — 10 | — 13 | 3 | M | 18 | 41 | — 23 | — 17 | — 6 | M | 21 | 30 | — 9 | — 11 | 2 |
| A | 19 | 26 | — 7 | — 9 | 2 | A | 21 | 31 | — 10 | — 12 | 2 | A | 21 | 29 | — 8 | — 2 | — 6 |
| M | 19 | 26 | — 7 | — 8 | 1 | M | 21 | 32 | — 11 | — 6 | — 5 | M | 22 | 30 | — 8 | — 5 | — 3 |
| J | 20 | 25 | — 5 | — 4 | — 1 | J | 25 | 28 | — 3 | — 7 | 4 | J | 19 | 33 | — 14 | — 12 | — 2 |
| J | 19 | 26 | — 7 | — 8 | 1 | J | 21 | 32 | — 11 | — 9 | — 2 | J | 21 | 28 | — 7 | — 11 | 4 |
| A | 21 | 27 | — 6 | — 7 | 1 | A | 18 | 34 | — 16 | — 17 | 1 | A | 17 | 36 | — 19 | — 16 | — 3 |
| S | 15 | 31 | — 16 | — 12 | — 4 | S | 24 | 29 | — 5 | — 4 | — 1 | S | 21 | 28 | — 7 | — 6 | — 1 |
| O | 16 | 27 | — 11 | — 15 | 4 | O | 17 | 38 | — 21 | — 16 | — 5 | O | 22 | 29 | — 7 | — 8 | 1 |
| N | 16 | 29 | — 13 | — 17 | 4 | N | 20 | 34 | — 14 | — 12 | — 2 | N | 19 | 30 | — 11 | — 8 | — 3 |
| D | 21 | 24 | — 3 | — 6 | 3 | D | 22 | 29 | — 7 | — 8 | 1 | D | 23 | 30 | — 7 | — 9 | 2 |
| 1900 J | 19 | 25 | — 6 | — 8 | 2 | 1904 J | 17 | 31 | — 14 | — 15 | 1 | 1908 J | 19 | 33 | — 14 | — 14 | 0 |
| F | 18 | 26 | — 8 | — 5 | — 3 | F | 19 | 35 | — 16 | — 9 | — 7 | F | 18 | 33 | — 15 | — 15 | 0 |
| M | 20 | 24 | — 4 | — 6 | 2 | M | 25 | 27 | — 2 | — 3 | 1 | M | 22 | 32 | — 10 | — 5 | — 5 |
| A | 17 | 24 | — 7 | — 10 | 3 | A | 19 | 32 | — 13 | — 9 | — 4 | A | 22 | 27 | — 5 | — 6 | 1 |
| M | 20 | 25 | — 5 | — 6 | 1 | M | 20 | 32 | — 12 | — 9 | — 3 | M | 24 | 28 | — 4 | — 4 | 0 |
| J | 20 | 24 | — 4 | — 5 | 1 | J | 24 | 29 | — 5 | — 8 | 3 | J | 23 | 28 | — 5 | — 6 | 1 |
| J | 18 | 27 | — 9 | — 6 | — 3 | J | 25 | 27 | — 2 | — 5 | 3 | J | 21 | 30 | — 9 | — 8 | — 1 |
| A | 20 | 28 | — 8 | — 7 | — 1 | A | 18 | 32 | — 14 | — 9 | — 5 | A | 17 | 32 | — 15 | — 11 | — 4 |
| S | 16 | 29 | — 13 | — 10 | — 3 | S | 25 | 25 | 0 | — 2 | 2 | S | 21 | 30 | — 9 | — 11 | 2 |
| O | 13 | 32 | — 19 | — 14 | — 5 | O | 20 | 32 | — 12 | — 11 | — 1 | O | 25 | 26 | — 1 | — 2 | 1 |
| N | 18 | 25 | — 7 | — 7 | 0 | N | 19 | 34 | — 15 | — 12 | — 3 | N | 23 | 29 | — 6 | — 14 | 8 |
| D | 15 | 31 | — 16 | — 17 | 1 | D | 20 | 37 | — 17 | — 14 | — 3 | D | 21 | 30 | — 9 | — 11 | 2 |

Die Resultante der Ströme nach N 45 O—S—S 45 W ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet und positiv gerechnet.
» » » » » S 45 W—N—N 45 O » » einwärtsgehender » » » negativ »
Die Wind- und Strömrichtungen sind missweisend.

*Tabelle 7.* **SKAGENS REV.** 57° 46′,0 N. Br. 10° 43′,3 Ö. L.

## Monatsmittel der beobachteten Ströme und entsprechende berechnete Werte.

Zur Berechnung der Stromstärke s in $^{cm}/_{sec}$ wurde folgende Formel benutzt:

$$s = 69{,}4 - 17{,}3\,N + 1{,}4\,NO + 5{,}8\,O - 4{,}3\,SO - 15{,}3\,S - 15{,}4\,SW - 17{,}1\,W - 14{,}6\,NW,$$

wo N, NO ... das Produkt der relativen Häufigkeit und mittleren Stärke, vermehrt durch 3 Einheiten des Windes nach Beauforts Skala (0—12) bezeichnen, indem die Buchstaben die Richtung des Windes angeben.

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 J | 55 | 5 | 50 | 54 | — 4 | 1901 J | 32 | 17 | 15 | — 3 | 18 | 1905 J | 20 | 41 | — 21 | — 10 | — 11 |
| F | 11 | 32 | — 21 | — 20 | — 1 | F | 17 | 23 | — 6 | 10 | — 16 | F | 14 | 35 | — 21 | — 9 | — 12 |
| M | 43 | 18 | 25 | 32 | — 7 | M | 50 | 8 | 42 | 43 | — 1 | M | 38 | 19 | 19 | 16 | 3 |
| A | 37 | 8 | 29 | 32 | — 3 | A | 37 | 20 | 17 | 22 | — 5 | A | 41 | 20 | 21 | 16 | 5 |
| M | 43 | 25 | 18 | 14 | 4 | M | 49 | 10 | 39 | 26 | 13 | M | 32 | 22 | 10 | 7 | 3 |
| J | 42 | 29 | 13 | 2 | 11 | J | 26 | 24 | 2 | — 2 | 4 | J | 44 | 20 | 24 | 19 | 5 |
| J | 31 | 30 | 1 | 6 | — 5 | J | 31 | 21 | 10 | 11 | — 1 | J | 15 | 39 | — 24 | — 20 | — 4 |
| A | 26 | 25 | 1 | 4 | — 3 | A | 22 | 28 | — 6 | — 7 | 1 | A | 32 | 29 | 3 | 2 | 1 |
| S | 10 | 40 | — 30 | — 26 | — 4 | S | 57 | 2 | 55 | 35 | 20 | S | 40 | 26 | 14 | 6 | 8 |
| O | 28 | 14 | 14 | — 4 | 18 | O | 17 | 23 | — 6 | 8 | — 14 | O | 44 | 15 | 29 | 19 | 10 |
| N | 36 | 34 | 2 | — 16 | 18 | N | 18 | 33 | — 15 | — 13 | — 2 | N | 47 | 22 | 25 | 26 | — 1 |
| D | 26 | 21 | 5 | 5 | 0 | D | 23 | 18 | 5 | 22 | — 17 | D | 12 | 33 | — 21 | — 24 | 3 |
| 1898 J | 8 | 48 | — 40 | — 30 | — 10 | 1902 J | 12 | 44 | — 32 | — 25 | — 7 | 1906 J | 20 | 32 | — 12 | — 15 | 3 |
| F | 29 | 20 | 9 | 8 | 1 | F | 29 | 11 | 18 | 18 | 0 | F | 23 | 23 | 0 | — 2 | 2 |
| M | 39 | 17 | 22 | 27 | — 5 | M | 30 | 19 | 11 | 16 | — 5 | M | 25 | 34 | — 9 | — 21 | 12 |
| A | 58 | 5 | 53 | 50 | 3 | A | 54 | 3 | 51 | 42 | 9 | A | 40 | 14 | 26 | 10 | 16 |
| M | 42 | 26 | 16 | 6 | 10 | M | 31 | 22 | 9 | 25 | — 16 | M | 38 | 18 | 20 | 27 | — 7 |
| J | 27 | 23 | 4 | 6 | — 2 | J | 26 | 28 | — 2 | 25 | — 27 | J | 30 | 25 | 5 | 7 | — 2 |
| J | 14 | 33 | — 19 | — 23 | 4 | J | 16 | 35 | — 19 | — 21 | 2 | J | 20 | 32 | — 12 | — 3 | — 9 |
| A | 23 | 26 | — 3 | — 11 | 8 | A | 11 | 26 | — 15 | — 9 | — 6 | A | 12 | 23 | — 11 | — 9 | — 2 |
| S | 12 | 25 | — 13 | — 11 | — 2 | S | 9 | 20 | — 11 | 8 | — 19 | S | 36 | 19 | 17 | 24 | — 7 |
| O | 49 | 12 | 37 | 23 | 14 | O | 50 | 13 | 37 | 11 | 26 | O | 28 | 19 | 9 | 10 | — 1 |
| N | 28 | 17 | 11 | 6 | 5 | N | 35 | 12 | 23 | 18 | 5 | N | 39 | 21 | 18 | 8 | 10 |
| D | 8 | 50 | — 42 | — 38 | — 4 | D | 38 | 25 | 13 | 24 | — 11 | D | 14 | 23 | — 9 | 8 | — 17 |
| 1899 J | 16 | 24 | — 8 | 3 | — 11 | 1903 J | 28 | 32 | — 4 | — 5 | 1 | 1907 J | 15 | 28 | — 13 | — 10 | — 3 |
| F | 21 | 24 | — 3 | — 4 | 1 | F | 7 | 54 | — 47 | — 50 | 3 | F | 19 | 32 | — 13 | — 11 | — 2 |
| M | 13 | 34 | — 21 | — 12 | — 9 | M | 9 | 42 | — 33 | — 15 | — 18 | M | 9 | 38 | — 29 | — 19 | — 10 |
| A | 14 | 35 | — 21 | — 13 | — 8 | A | 36 | 17 | 19 | 24 | — 5 | A | 48 | 11 | 37 | 34 | 3 |
| M | 47 | 15 | 32 | 24 | 8 | M | 31 | 21 | 10 | 26 | — 16 | M | 32 | 20 | 12 | 26 | — 14 |
| J | 40 | 16 | 24 | 17 | 7 | J | 47 | 14 | 33 | 26 | 7 | J | 19 | 22 | — 3 | 10 | — 13 |
| J | 35 | 29 | 6 | 0 | 6 | J | 20 | 34 | — 14 | — 13 | — 1 | J | 27 | 19 | 8 | — 5 | 13 |
| A | 33 | 18 | 15 | 12 | 3 | A | 9 | 40 | — 31 | — 38 | 7 | A | 7 | 29 | — 22 | — 27 | 5 |
| S | 13 | 26 | — 13 | — 9 | — 4 | S | 35 | 12 | 23 | 18 | 5 | S | 10 | 22 | — 12 | — 12 | 0 |
| O | 14 | 32 | — 18 | — 38 | 20 | O | 32 | 22 | 10 | 18 | — 8 | O | 39 | 13 | 26 | 30 | — 4 |
| N | 10 | 44 | — 34 | — 48 | 14 | N | 13 | 34 | — 21 | — 14 | — 7 | N | 36 | 17 | 19 | 25 | — 6 |
| D | 52 | 5 | 47 | 42 | 5 | D | 52 | 16 | 36 | 31 | 5 | D | 45 | 13 | 32 | 35 | — 3 |
| 1900 J | 40 | 19 | 21 | 24 | — 3 | 1904 J | 19 | 44 | — 25 | — 8 | — 17 | 1908 J | 19 | 34 | — 15 | — 22 | 7 |
| F | 52 | 7 | 45 | 47 | — 2 | F | 59 | 9 | 50 | 49 | 1 | F | 7 | 41 | — 34 | — 21 | — 13 |
| M | 35 | 19 | 16 | 22 | — 6 | M | 58 | 10 | 48 | 49 | — 1 | M | 66 | 4 | 62 | 57 | 5 |
| A | 35 | 26 | 9 | 3 | 6 | A | 28 | 29 | — 1 | — 2 | 1 | A | 54 | 8 | 46 | 37 | 9 |
| M | 29 | 13 | 16 | 8 | 8 | M | 26 | 29 | — 3 | 11 | — 14 | M | 23 | 24 | — 1 | 16 | — 17 |
| J | 39 | 16 | 23 | 12 | 11 | J | 25 | 30 | — 5 | — 6 | 1 | J | 22 | 28 | — 6 | 2 | — 8 |
| J | 22 | 27 | — 5 | — 9 | 4 | J | 11 | 36 | — 25 | — 16 | — 9 | J | 38 | 16 | 22 | 12 | 10 |
| A | 31 | 18 | 13 | 0 | 13 | A | 16 | 26 | — 10 | — 10 | 0 | A | 15 | 30 | — 15 | — 4 | — 11 |
| S | 8 | 39 | — 31 | — 18 | — 13 | S | 45 | 13 | 32 | 32 | 0 | S | 17 | 20 | — 3 | 2 | — 5 |
| O | 25 | 15 | 10 | — 2 | 12 | O | 22 | 33 | — 11 | — 6 | — 5 | O | 58 | 9 | 49 | 30 | 19 |
| N | 59 | 8 | 51 | 26 | 25 | N | 20 | 31 | — 11 | 14 | 3 | N | 32 | 26 | 6 | — 10 | 16 |
| D | 30 | 36 | — 6 | — 12 | 6 | D | 20 | 37 | — 17 | — 11 | — 6 | D | 31 | 25 | 6 | 12 | — 6 |

Die Resultante der Ströme nach S 68 W—N—N 68 O ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet und positiv gerechnet.
» » » » N 68 O—O—S 68 W » » einwärtsgehender » » » negativ »
Die Wind- und Stromrichtungen sind missweisend.

*Tabelle 8.* **LÆSØ RENDE.** 57° 12′,8 N. Br. 10° 41′,7 Ö. L.

Monatsmittel der beobachteten Ströme und entsprechende berechnete Werte.

Zur Berechnung der Stromstärke s in $^{cm}/_{sec}$ wurde folgende Formel benutzt:

$$s = 42{,}8 - 6{,}3\,N - 2{,}3\,NO + 4{,}5\,O + 3{,}2\,SO + 2{,}7\,S - 4{,}0\,SW - 9{,}0\,W - 12{,}0\,NW,$$

wo N, NO ... das Produkt der relativen Häufigkeit und mittleren Stärke, vermehrt durch 3 Einheiten des Windes nach Beauforts Skala (0—12) bezeichnen, indem die Buchstaben die Richtung des Windes angeben.

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Storm b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 J | 42 | 5 | 37 | 37 | 0 | 1901 J | 36 | 7 | 29 | 29 | 0 | 1905 J | 28 | 18 | 10 | 15 | — 5 |
| F | | | | | | F | 34 | 4 | 30 | 24 | 6 | F | 23 | 9 | 14 | 13 | 1 |
| M | 37 | 10 | 27 | 40 | — 13 | M | 44 | 4 | 40 | 41 | — 1 | M | 45 | 1 | 44 | 46 | — 2 |
| A | 30 | 2 | 28 | 33 | — 5 | A | 41 | 6 | 35 | 36 | — 1 | A | 28 | 10 | 18 | 21 | — 3 |
| M | 30 | 4 | 26 | 25 | 1 | M | 37 | 2 | 35 | 31 | 4 | M | 30 | 4 | 26 | 21 | 5 |
| J | 29 | 8 | 21 | 22 | — 1 | J | 23 | 13 | 10 | 22 | — 12 | J | 35 | 1 | 34 | 28 | 6 |
| J | 18 | 13 | 5 | 12 | — 7 | J | 29 | 4 | 25 | 25 | 0 | J | 14 | 19 | — 5 | — 3 | — 2 |
| A | 36 | 3 | 33 | 30 | 3 | A | 25 | 11 | 14 | 12 | 2 | A | 38 | 7 | 31 | 20 | 11 |
| S | 18 | 15 | 3 | 8 | — 5 | S | 49 | 1 | 48 | 44 | 4 | S | 34 | 9 | 25 | 19 | 6 |
| O | 27 | 4 | 23 | 23 | 0 | O | 29 | 4 | 25 | 29 | — 4 | O | 27 | 11 | 16 | 20 | — 4 |
| N | 24 | 12 | 12 | 13 | — 1 | N | 18 | 21 | — 3 | — 2 | — 1 | N | 44 | 3 | 41 | 34 | 7 |
| D | 32 | 8 | 24 | 26 | — 2 | D | 37 | 6 | 31 | 36 | — 5 | D | 22 | 16 | 6 | 3 | 3 |
| 1898 J | 19 | 14 | 5 | 4 | 1 | 1902 J | 14 | 22 | — 8 | — 11 | 3 | 1906 J | 31 | 6 | 25 | 17 | 8 |
| F | 25 | 11 | 14 | 22 | — 8 | F | 31 | 3 | 28 | 29 | — 1 | F | 32 | 7 | 25 | 28 | — 3 |
| M | 34 | 6 | 28 | 21 | 7 | M | 27 | 3 | 24 | 30 | — 6 | M | 21 | 18 | 3 | 1 | 2 |
| A | 39 | 4 | 35 | 38 | — 3 | A | 49 | 1 | 48 | 46 | 2 | A | 38 | 1 | 37 | 27 | 10 |
| M | 29 | 5 | 24 | 22 | 2 | M | 22 | 10 | 12 | 21 | — 9 | M | 38 | 1 | 37 | 32 | 5 |
| J | 24 | 16 | 8 | 19 | — 11 | J | 30 | 6 | 24 | 23 | 1 | J | 21 | 6 | 15 | 12 | 3 |
| J | 11 | 28 | — 17 | — 7 | — 10 | J | 12 | 25 | — 13 | — 4 | — 9 | J | 22 | 9 | 13 | 8 | 5 |
| A | 24 | 14 | 10 | 15 | — 5 | A | 16 | 15 | 1 | 11 | — 10 | A | 24 | 8 | 16 | 10 | 6 |
| S | 23 | 11 | 12 | 7 | 5 | S | 25 | 7 | 18 | 16 | 2 | S | 30 | 11 | 19 | 25 | — 6 |
| O | 52 | 1 | 51 | 37 | 14 | O | 38 | 4 | 34 | 29 | 5 | O | 49 | 1 | 48 | 41 | 7 |
| N | 34 | 4 | 30 | 25 | 5 | N | 42 | 6 | 36 | 39 | — 3 | N | 26 | 14 | 12 | 21 | — 9 |
| D | 15 | 22 | — 7 | — 6 | — 1 | D | 26 | 9 | 17 | 27 | — 10 | D | 27 | 9 | 18 | 24 | — 6 |
| 1899 J | 32 | 12 | 20 | 18 | 2 | 1903 J | 25 | 8 | 17 | 18 | — 1 | 1907 J | 20 | 16 | 4 | 9 | — 5 |
| F | 29 | 9 | 20 | 18 | 2 | F | 14 | 22 | — 8 | — 13 | 5 | F | 28 | 13 | 15 | 19 | — 4 |
| M | 48 | 15 | 33 | 5 | 28 | M | 30 | 4 | 26 | 32 | — 6 | M | 17 | 14 | 3 | 9 | — 6 |
| A | 21 | 13 | 8 | 13 | — 5 | A | 27 | 7 | 20 | 23 | — 3 | A | 34 | 6 | 28 | 28 | 0 |
| M | 38 | 2 | 36 | 23 | 13 | M | 34 | 1 | 33 | 28 | 5 | M | 36 | 3 | 33 | 29 | 4 |
| J | 21 | 7 | 14 | 20 | — 6 | J | 22 | 9 | 13 | 26 | — 13 | J | 31 | 6 | 25 | 27 | — 2 |
| J | 35 | 9 | 26 | 15 | 11 | J | 18 | 11 | 7 | 12 | — 5 | J | 27 | 5 | 22 | 9 | 13 |
| A | 22 | 8 | 14 | 19 | — 5 | A | 15 | 25 | — 10 | — 7 | — 3 | A | 10 | 21 | — 11 | 0 | — 11 |
| S | 21 | 13 | 8 | 9 | — 1 | S | 42 | 5 | 37 | 30 | 7 | S | 21 | 12 | 9 | 6 | 3 |
| O | 18 | 11 | 7 | — 2 | 9 | O | 37 | 4 | 33 | 38 | — 5 | O | 57 | 0 | 57 | 49 | 8 |
| N | 19 | 17 | 2 | — 7 | 9 | N | 32 | 13 | 19 | 7 | 12 | N | 48 | 1 | 47 | 48 | — 1 |
| D | 54 | 4 | 50 | 44 | 6 | D | 51 | 0 | 51 | 49 | 2 | D | 40 | 3 | 37 | 44 | — 7 |
| 1900 J | 46 | 6 | 40 | 34 | 6 | 1904 J | 41 | 5 | 36 | 26 | 10 | 1908 J | 17 | 19 | — 2 | 5 | — 7 |
| F | | | | | | F | 45 | 9 | 36 | 44 | — 8 | F | 22 | 24 | — 2 | 4 | — 6 |
| M | 32 | 9 | 23 | 24 | — 1 | M | 48 | 1 | 47 | 49 | — 2 | M | 52 | 1 | 51 | 53 | — 2 |
| A | 33 | 7 | 26 | 24 | 2 | A | 30 | 7 | 23 | 20 | 3 | A | 36 | 6 | 30 | 33 | — 3 |
| M | 28 | 9 | 19 | 23 | — 4 | M | 29 | 9 | 20 | 27 | — 7 | M | 33 | 8 | 25 | 21 | 4 |
| J | 36 | 2 | 34 | 26 | 8 | J | 27 | 9 | 18 | 4 | 14 | J | 27 | 4 | 23 | 21 | 2 |
| J | 27 | 9 | 18 | 19 | — 1 | J | 20 | 12 | 8 | 4 | 4 | J | 24 | 8 | 16 | 22 | — 6 |
| A | 33 | 3 | 30 | 27 | 3 | A | 16 | 20 | — 4 | 2 | — 6 | A | 22 | 16 | 6 | 9 | — 3 |
| S | 12 | 20 | — 8 | 9 | — 17 | S | 38 | 2 | 36 | 39 | — 3 | S | 26 | 13 | 13 | 21 | — 8 |
| O | 23 | 10 | 13 | 18 | — 5 | O | 36 | 6 | 30 | 22 | 8 | O | 49 | 2 | 47 | 41 | 6 |
| N | 57 | 1 | 56 | 49 | 7 | N | 21 | 17 | 4 | 7 | — 3 | N | 41 | 10 | 31 | 18 | 13 |
| D | 26 | 14 | 12 | 17 | — 5 | D | 23 | 13 | 10 | 9 | 1 | | 39 | 4 | 35 | 34 | 1 |

Die Resultante der Ströme nach N 79 W—N—S 79 O ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet und positiv gerechnet.
» » » » » S 79 O—S—N 79 W » » einwärtsgehender » » negativ »
Die Wind- und Stromrichtungen sind missweisend.

*Tabelle 9.* **LÆSØ TRINDEL.** { $^1/_1$ 1897—$^1/_9$ 1902 57° 25′,8 N. Br. 11° 16′,0 Ö. L.
$^1/_9$ 1902—$^{31}/_{12}$ 1908 57° 26′,3 N. Br. 11° 16′,5 Ö. L.

## Monatsmittel der beobachteten Ströme und entsprechende berechnete Werte.

Zur Berechnung der Strömstärke s in $^{cm}/_{sec}$ wurde folgende Formel benutzt:

$$s = 13{,}1 - 2{,}7\,N + 4{,}3\,NO + 3{,}3\,O + 7{,}0\,SO + 7{,}6\,S - 6{,}3\,SW - 3{,}3\,W - 1{,}4\,NW,$$

wo N, NO ... das Produkt der relativen Häufigkeit und mittleren Stärke, vermehrt durch 3 Einheiten des Windes nach Beauforts Skala (0—12) bezeichnen, indem die Buchstaben die Richtung des Windes angeben.

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a–b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 J | 28 | 3 | 25 | 34 | — 9 | 1901 J | 27 | 5 | 22 | 17 | 5 | 1905 J | 19 | 10 | 9 | 13 | — 4 |
| F | 4 | 11 | — 7 | — 2 | — 5 | F | | | | | | F | 23 | 6 | 17 | 10 | 7 |
| M | 32 | 3 | 29 | 34 | — 5 | M | | | | | | M | 42 | 3 | 39 | 34 | 5 |
| A | 33 | 1 | 32 | 25 | 7 | A | 19 | 6 | 13 | 23 | — 10 | A | 19 | 11 | 8 | 20 | — 12 |
| M | 30 | 2 | 28 | 20 | 8 | M | 24 | 1 | 23 | 20 | 3 | M | 23 | 5 | 18 | 14 | 4 |
| J | 13 | 8 | 5 | 12 | — 7 | J | 14 | 6 | 8 | 14 | — 6 | J | 21 | 4 | 17 | 14 | 3 |
| J | 14 | 7 | 7 | 7 | 0 | J | 14 | 5 | 9 | 14 | — 5 | J | 2 | 21 | — 19 | 1 | — 20 |
| A | 16 | 5 | 11 | 19 | — 8 | A | 9 | 11 | — 2 | 9 | — 11 | A | 34 | 5 | 29 | 16 | 13 |
| S | 14 | 6 | 8 | 5 | 3 | S | 32 | 2 | 30 | 36 | — 6 | S | 26 | 12 | 14 | 12 | 2 |
| O | 13 | 6 | 7 | 11 | — 4 | O | 18 | 8 | 10 | 21 | — 11 | O | 30 | 6 | 24 | 19 | 5 |
| N | 15 | 6 | 9 | 11 | — 2 | N | 16 | 6 | 10 | 6 | 4 | N | 28 | 13 | 15 | 22 | — 7 |
| D | 16 | 7 | 9 | 21 | — 12 | D | 29 | 5 | 24 | 29 | — 5 | D | 10 | 11 | — 1 | 3 | — 4 |
| 1898 J | 8 | 7 | 1 | 2 | — 1 | 1902 J | 16 | 7 | 9 | 3 | 6 | 1906 J | 27 | 6 | 21 | 11 | 10 |
| F | 18 | 4 | 14 | 26 | — 12 | F | 32 | 5 | 27 | 20 | 7 | F | 35 | 9 | 26 | 20 | 6 |
| M | 22 | 3 | 19 | 26 | — 7 | M | 35 | 6 | 29 | 22 | 7 | M | 23 | 9 | 14 | 8 | 6 |
| A | 30 | 1 | 29 | 30 | — 1 | A | 32 | 2 | 30 | 33 | — 3 | A | 37 | 3 | 34 | 14 | 20 |
| M | 22 | 3 | 19 | 17 | 2 | M | 20 | 8 | 12 | 18 | — 6 | M | 28 | 3 | 25 | 25 | 0 |
| J | 19 | 4 | 15 | 14 | 1 | J | 16 | 8 | 8 | 18 | — 10 | J | 13 | 10 | 3 | 6 | — 3 |
| J | 14 | 6 | 8 | 5 | 3 | J | 19 | 11 | 8 | 2 | 6 | J | 20 | 8 | 12 | 5 | 7 |
| A | 19 | 6 | 13 | 15 | — 2 | A | 22 | 7 | 15 | 10 | 5 | A | 15 | 6 | 9 | 10 | — 1 |
| S | 11 | 5 | 6 | 9 | — 3 | S | 17 | 12 | 5 | 14 | — 9 | S | 29 | 2 | 27 | 22 | 5 |
| O | 32 | 3 | 29 | 25 | 4 | O | 30 | 8 | 22 | 18 | 4 | O | 35 | 6 | 29 | 32 | — 3 |
| N | 17 | 11 | 6 | 10 | — 4 | N | 34 | 5 | 29 | 26 | 3 | N | 19 | 14 | 5 | 17 | — 12 |
| D | 7 | 11 | — 4 | — 4 | 0 | D | 17 | 11 | 6 | 21 | — 15 | D | 13 | 7 | 6 | 8 | — 2 |
| 1899 J | 19 | 7 | 12 | 14 | — 2 | 1903 J | 31 | 6 | 25 | 16 | 9 | 1907 J | 23 | 6 | 17 | 11 | 6 |
| F | 25 | 5 | 20 | 13 | 7 | F | 8 | 14 | — 6 | — 4 | — 2 | F | 27 | 10 | 17 | 22 | — 5 |
| M | 20 | 5 | 15 | 10 | 5 | M | 27 | 7 | 20 | 25 | — 5 | M | 15 | 10 | 5 | 9 | — 4 |
| A | 13 | 5 | 8 | 13 | — 5 | A | 37 | 3 | 34 | 17 | 17 | A | 23 | 8 | 15 | 22 | — 7 |
| M | 31 | 2 | 29 | 20 | 9 | M | 21 | 4 | 17 | 18 | — 1 | M | 29 | 5 | 24 | 22 | 2 |
| J | 16 | 7 | 9 | 15 | — 6 | J | 25 | 7 | 18 | 21 | — 3 | J | 35 | 2 | 33 | 15 | 18 |
| J | 16 | 8 | 8 | 12 | — 4 | J | 8 | 15 | — 7 | 10 | — 17 | J | 27 | 12 | 15 | 5 | 10 |
| A | 18 | 6 | 12 | 12 | 0 | A | 16 | 13 | 3 | 1 | 2 | A | 11 | 9 | 2 | — 1 | 3 |
| S | 10 | 9 | 1 | 8 | — 7 | S | 38 | 5 | 33 | 20 | 13 | S | 30 | 5 | 25 | 13 | 12 |
| O | 13 | 6 | 7 | — 1 | 8 | O | 37 | 6 | 31 | 31 | 0 | O | 45 | 1 | 44 | 30 | 14 |
| N | 11 | 9 | 2 | 3 | — 1 | N | 15 | 10 | 5 | 9 | — 4 | N | 47 | 5 | 42 | 40 | 2 |
| D | 44 | 1 | 43 | 39 | 4 | D | 34 | 7 | 27 | 38 | — 11 | D | 54 | 6 | 48 | 37 | 11 |
| 1900 J | 25 | 5 | 20 | 29 | — 9 | 1904 J | 15 | 13 | 2 | 20 | — 18 | 1908 J | 17 | 18 | — 1 | — 3 | 2 |
| F | 32 | 3 | 29 | 33 | — 4 | F | 39 | 6 | 33 | 33 | 0 | F | 21 | 7 | 14 | 5 | 9 |
| M | 16 | 6 | 10 | 16 | — 6 | M | 35 | 2 | 33 | 36 | — 3 | M | 58 | 2 | 56 | 42 | 14 |
| A | 17 | 6 | 11 | 15 | — 4 | A | 22 | 8 | 14 | 16 | — 2 | A | 35 | 8 | 27 | 21 | 6 |
| M | 19 | 4 | 15 | 21 | — 6 | M | 24 | 5 | 19 | 20 | — 1 | M | 38 | 4 | 34 | 20 | 14 |
| J | 25 | 3 | 22 | 11 | 11 | J | 17 | 6 | 11 | 7 | 4 | J | 22 | 9 | 13 | 17 | — 4 |
| J | 8 | 11 | — 3 | 10 | — 13 | J | 15 | 7 | 8 | 7 | 1 | J | 18 | 21 | — 3 | 14 | — 17 |
| A | 27 | 4 | 23 | 19 | 4 | A | 15 | 8 | 7 | 5 | 2 | A | 17 | 15 | 2 | 8 | — 6 |
| S | 7 | 11 | — 4 | 7 | — 11 | S | 29 | 3 | 26 | 22 | 4 | S | 37 | 9 | 28 | 15 | 13 |
| O | 17 | 8 | 9 | 9 | 0 | O | 18 | 11 | 7 | 14 | — 7 | O | 48 | 6 | 42 | 24 | 18 |
| N | 45 | 2 | 43 | 34 | 9 | N | 13 | 9 | 4 | 7 | — 3 | N | 21 | 21 | 0 | 10 | — 10 |
| D | 14 | 8 | 6 | 3 | 3 | D | 23 | 5 | 18 | 9 | 9 | D | 30 | 12 | 18 | 21 | — 3 |

Die Resultante der Ströme nach W —N—N 79 O ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet und positiv gerechnet.
» » » » » N 79 O—S— W » » einwärtsgehender » » » negativ »
Die Wind- und Stromrichtungen sind missweisend.

*Tabelle 10.* **KOBBERGRUNDEN.** { $^1/_1$ 1897—$^1/_9$ 1902 57° 08′,9 N. Br. 11° 22′.8 Ö. L.
$^1/_9$ 1902—$^{20}/_6$ 1908 57° 08′,4 N. Br. 11° 22′,7 Ö. L.

## Monatsmittel der beobachteten Ströme und entsprechende berechnete Werte.

Zur Berechnung der Stromstärke s in $^{cm}/_{sec}$ wurde folgende Formel benutzt:

$$s = -12{,}6 + 3{,}5\,N + 4{,}4\,NO + 4{,}8\,O + 7{,}4\,SO + 6{,}3\,S + 2.5\,SW + 1{,}2\,W - 1{,}0\,NW,$$

wo N, NO ... das Produkt der relativen Häufigkeit und mittleren Stärke, vermehrt durch 3 Einheiten des Windes nach Beauforts Skala (0—12) bezeichnen, indem die Buchstaben die Richtung des Windes angeben.

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b |
|---|---|---|---|---|---|
| 1897 J | 15 | 5 | 10 | 16 | — 6 |
| F | 3 | 11 | — 8 | — 5 | — 3 |
| M | 28 | 8 | 20 | 18 | 2 |
| A | 17 | 5 | 12 | 9 | 3 |
| M | 11 | 7 | 4 | 3 | 1 |
| J | 8 | 13 | — 5 | 2 | — 7 |
| J | 14 | 9 | 5 | — 1 | 6 |
| A | 16 | 6 | 10 | 7 | 3 |
| S | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| O | 14 | 4 | 10 | 0 | 10 |
| N | 12 | 11 | 1 | 3 | — 2 |
| D | 21 | 5 | 16 | 13 | 3 |
| 1898 J | 10 | 6 | 4 | — 1 | 5 |
| F | 16 | 8 | 8 | 11 | — 3 |
| M | 21 | 8 | 13 | 9 | 4 |
| A | 24 | 5 | 19 | 12 | 7 |
| M | 17 | 11 | 6 | 7 | — 1 |
| J | 9 | 10 | — 1 | 0 | — 1 |
| J | 7 | 19 | — 12 | — 5 | — 7 |
| A | 15 | 10 | 5 | 4 | 1 |
| S | 13 | 6 | 7 | 0 | 7 |
| O | 17 | 7 | 10 | 11 | — 1 |
| N | 13 | 8 | 5 | 6 | — 1 |
| D | 9 | 10 | — 1 | 1 | — 2 |
| 1899 J | 18 | 8 | 10 | 6 | 4 |
| F | 13 | 5 | 8 | 4 | 4 |
| M | 12 | 8 | 4 | 2 | 2 |
| A | 12 | 7 | 5 | 3 | 2 |
| M | 14 | 4 | 10 | 7 | 3 |
| J | 10 | 10 | 0 | 2 | — 2 |
| J | 5 | 13 | — 8 | — 1 | — 7 |
| A | 9 | 6 | 3 | — 1 | 4 |
| S | 11 | 9 | 2 | 1 | 1 |
| O | 11 | 4 | 7 | — 1 | 8 |
| N | 8 | 6 | 2 | — 1 | 3 |
| D | 21 | 3 | 18 | 20 | — 2 |
| 1900 J | 15 | 9 | 6 | 10 | — 4 |
| F | | | | | |
| M | | | | | |
| A | 14 | 8 | 6 | 6 | 0 |
| M | 7 | 6 | 1 | 2 | — 1 |
| J | 5 | 10 | — 5 | — 3 | — 2 |
| J | 7 | 12 | — 5 | 0 | — 5 |
| A | 14 | 3 | 11 | 4 | 7 |
| S | 7 | 11 | — 4 | — 2 | — 2 |
| O | 11 | 6 | 5 | 3 | 2 |
| N | 17 | 1 | 16 | 16 | 0 |
| D | 11 | 11 | 0 | 4 | — 4 |

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b |
|---|---|---|---|---|---|
| 1901 J | 13 | 3 | 10 | 8 | 2 |
| F | | | | | |
| M | | | | | |
| A | 14 | 6 | 8 | 5 | 3 |
| M | 11 | 6 | 5 | 5 | 0 |
| J | 7 | 11 | — 4 | 0 | — 4 |
| J | 6 | 9 | — 3 | 0 | — 3 |
| A | 8 | 13 | — 5 | — 1 | — 4 |
| S | 17 | 1 | 16 | 14 | 2 |
| O | 14 | 5 | 9 | 7 | 2 |
| N | 10 | 7 | 3 | — 2 | 5 |
| D | 15 | 3 | 12 | 17 | — 5 |
| 1902 J | 8 | 6 | 2 | — 1 | 3 |
| F | 14 | 4 | 10 | 6 | 4 |
| M | 13 | 7 | 6 | 8 | — 2 |
| A | 18 | 7 | 11 | 12 | — 1 |
| M | 12 | 8 | 4 | 6 | — 2 |
| J | 10 | 10 | 0 | 2 | — 2 |
| J | 5 | 14 | — 9 | — 4 | — 5 |
| A | 10 | 4 | 6 | — 2 | 8 |
| S | 12 | 5 | 7 | 3 | 4 |
| O | 13 | 8 | 5 | 6 | — 1 |
| N | 14 | 6 | 8 | 12 | — 4 |
| D | 11 | 8 | 3 | 8 | — 5 |
| 1903 J | 11 | 3 | 8 | 9 | — 1 |
| F | 9 | 5 | 4 | 3 | 1 |
| M | 18 | 3 | 15 | 16 | — 1 |
| A | 9 | 7 | 2 | 8 | — 6 |
| M | 9 | 7 | 2 | 3 | — 1 |
| J | 12 | 8 | 4 | 7 | — 3 |
| J | 8 | 14 | — 6 | — 1 | — 5 |
| A | 7 | 9 | — 2 | — 1 | — 1 |
| S | 11 | 5 | 6 | 4 | 2 |
| O | 18 | 6 | 12 | 16 | — 4 |
| N | 10 | 8 | 2 | 2 | 0 |
| D | 20 | 1 | 19 | 19 | 0 |
| 1904 J | 22 | 6 | 16 | 12 | 4 |
| F | 23 | 5 | 18 | 15 | 3 |
| M | 20 | 2 | 18 | 15 | 3 |
| A | 11 | 7 | 4 | 5 | — 1 |
| M | 12 | 6 | 6 | 7 | — 1 |
| J | 7 | 8 | — 1 | — 1 | 0 |
| J | 6 | 9 | — 3 | — 4 | 1 |
| A | 4 | 12 | — 8 | — 4 | — 4 |
| S | 16 | 4 | 12 | 5 | 7 |
| O | 12 | 9 | 3 | 7 | — 4 |
| N | 6 | 8 | — 2 | 2 | — 4 |
| D | 9 | 6 | 3 | 2 | 1 |

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b |
|---|---|---|---|---|---|
| 1905 J | 11 | 4 | 7 | 7 | 0 |
| F | 12 | 3 | 9 | 7 | 2 |
| M | 21 | 6 | 15 | 15 | 0 |
| A | 13 | 6 | 7 | 7 | 0 |
| M | 7 | 6 | 1 | — 1 | 2 |
| J | 7 | 8 | — 1 | 4 | — 5 |
| J | 3 | 16 | — 13 | — 6 | — 7 |
| A | 12 | 11 | 1 | 5 | — 4 |
| S | 11 | 4 | 7 | 2 | 5 |
| O | 13 | 6 | 7 | 6 | 1 |
| N | 18 | 7 | 11 | 13 | — 2 |
| D | 6 | 7 | — 1 | 0 | — 1 |
| 1906 J | 12 | 3 | 9 | 7 | 2 |
| F | 13 | 4 | 9 | 9 | 0 |
| M | 12 | 5 | 7 | 2 | 5 |
| A | 10 | 3 | 7 | 3 | |
| M | 8 | 9 | — 1 | 5 | — 6 |
| J | 6 | 12 | — 6 | — 3 | — 3 |
| J | 7 | 13 | — 6 | — 3 | — 3 |
| A | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| S | 15 | 5 | 10 | 7 | 3 |
| O | 23 | 4 | 19 | 17 | 2 |
| N | 13 | 10 | 3 | 8 | — 5 |
| D | 6 | 6 | 0 | 5 | — 5 |
| 1907 J | 9 | 6 | 3 | 4 | — 1 |
| F | 14 | 5 | 9 | 8 | 1 |
| M | 8 | 5 | 3 | 3 | 0 |
| A | 16 | 4 | 12 | 6 | 6 |
| M | 9 | 5 | 4 | 6 | — 2 |
| J | 9 | 8 | 1 | 3 | — 2 |
| J | 3 | 9 | — 6 | — 1 | — 5 |
| A | 5 | 8 | — 3 | — 4 | 1 |
| S | 5 | 5 | 0 | — 2 | 2 |
| O | 9 | 7 | 2 | 11 | — 9 |
| N | 26 | 7 | 19 | 18 | 1 |
| D | 15 | 5 | 10 | 17 | — 7 |
| 1908 J | 5 | 9 | — 4 | 0 | — 4 |
| F | 10 | 6 | 4 | 3 | 1 |
| M | 24 | 3 | 21 | 17 | 4 |
| A | 8 | 7 | 1 | 6 | — 5 |
| M | 12 | 8 | 4 | 3 | 1 |
| J | 6 | 12 | — 6 | 3 | — 9 |
| J | | | | | |
| A | | | | | |
| S | | | | | |
| O | | | | | |
| N | | | | | |
| D | | | | | |

Die Resultante der Ströme nach S 79 W—N—S 79 O ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet und positiv gerechnet.
» » » S 79 O—S—S 79 W » » einwärtsgehender » » » negativ
Die Wind- und Stromrichtungen sind missweisend.

*Tabelle 11.* **ANHOLT KNOB.** { $^1/_1$ 1897—$^1/_9$ 1902 56° 45′,7 N. Br. 11° 51′,4 Ö. L.
$^1/_9$ 1902—$^{31}/_{12}$ 1908 56° 46′,0 N. Br. 11° 51′,8 Ö. L.

## Monatsmittel der beobachteten Ströme und entsprechende berechnete Werte.

Zur Berechnung der Strömstärke s in $^{cm}/_{sec}$ wurde folgende Formel benutzt:

$$s = -38{,}6 + 7{,}7\,N + 15{,}4\,NO + 13{,}1\,O + 9{,}5\,SO + 5{,}3\,S + 2{,}0\,SW + 2{,}5\,W - 0{,}7\,NW,$$

wo N, NO ... das Produkt der relativen Häufigkeit und mittleren Stärke, vermehrt durch 3 Einheiten des Windes nach Beauforts Skala (0 –12) bezeichnen, indem die Buchstaben die Richtung des Windes angeben.

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a–b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a–b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a–b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 J | 39 | 10 | 29 | 29 | 0 | 1901 J | 18 | 25 | — 7 | — 3 | — 4 | 1905 J | 29 | 20 | 9 | 1 | 8 |
| F | | | | | | F | | | | | | F | 24 | 20 | 4 | — 4 | 8 |
| M | 24 | 20 | 4 | 15 | — 11 | M | | | | | | M | 19 | 18 | 1 | 1 | 0 |
| A | 19 | 9 | 10 | 3 | 7 | A | 17 | 14 | 3 | 4 | — 1 | A | 22 | 21 | 1 | 7 | 6 |
| M | 12 | 16 | — 4 | — 4 | 0 | M | 14 | 10 | 4 | — 3 | 7 | M | 15 | 14 | 1 | — 8 | 9 |
| J | 6 | 26 | — 20 | — 12 | — 8 | J | 7 | 26 | — 19 | — 16 | — 3 | J | 9 | 24 | — 15 | 3 | — 18 |
| J | 13 | 18 | — 5 | — 9 | 4 | J | 12 | 18 | — 6 | — 10 | 4 | J | 1 | 45 | — 44 | — 25 | — 19 |
| A | 6 | 27 | — 21 | — 7 | — 14 | A | 3 | 38 | — 35 | — 14 | — 21 | A | 18 | 23 | — 5 | — 1 | — 4 |
| S | 4 | 26 | — 22 | — 14 | — 8 | S | 26 | 13 | 13 | 18 | — 5 | S | 19 | 18 | 1 | — 4 | 5 |
| O | 10 | 15 | — 5 | — 9 | 4 | O | 13 | 20 | — 7 | 0 | — 7 | O | 26 | 17 | 9 | 6 | 3 |
| N | 13 | 29 | — 16 | — 3 | — 13 | N | 21 | 24 | — 3 | — 4 | 1 | N | 27 | 22 | 5 | 21 | 16 |
| D | 21 | 19 | 2 | 5 | — 3 | D | 36 | 14 | 22 | 22 | 0 | D | 18 | 26 | — 8 | — 13 | 5 |
| 1898 J | 6 | 19 | — 13 | — 18 | 5 | 1902 J | 19 | 30 | — 11 | — 10 | — 1 | 1906 J | 20 | 12 | 8 | — 5 | 13 |
| F | 32 | 13 | 19 | 5 | 14 | F | 22 | 12 | 10 | 3 | 7 | F | 22 | 13 | 9 | — 5 | 14 |
| M | 36 | 17 | 19 | 18 | 1 | M | 14 | 17 | — 3 | — 3 | 0 | M | 23 | 18 | 5 | 3 | 2 |
| A | 31 | 13 | 18 | 13 | 5 | A | 28 | 8 | 20 | 11 | 9 | A | 19 | 13 | 6 | — 7 | 13 |
| M | 9 | 21 | — 12 | — 3 | — 9 | M | 15 | 11 | 4 | 4 | 0 | M | 10 | 14 | — 4 | — 5 | 1 |
| J | 7 | 20 | — 13 | — 15 | 2 | J | 15 | 12 | 3 | — 4 | 7 | J | 10 | 22 | — 12 | — 10 | 2 |
| J | 8 | 29 | — 21 | — 21 | 0 | J | 8 | 36 | — 28 | — 22 | — 6 | J | 1 | 28 | — 27 | — 18 | 9 |
| A | 17 | 16 | 1 | — 11 | 12 | A | 6 | 31 | — 25 | — 21 | — 4 | A | 10 | 27 | — 17 | — 18 | 1 |
| S | 14 | 23 | — 9 | — 14 | 5 | S | 9 | 20 | — 11 | — 10 | — 1 | S | 25 | 10 | 15 | 11 | 4 |
| O | 31 | 16 | 15 | 11 | 4 | O | 14 | 21 | — 7 | — 3 | — 4 | O | 21 | 20 | 1 | 7 | — 6 |
| N | 16 | 15 | 1 | — 5 | 6 | N | 25 | 15 | 10 | 8 | 2 | N | 16 | 20 | — 4 | 1 | — 5 |
| D | 16 | 25 | — 9 | — 13 | 4 | D | 20 | 22 | — 2 | 9 | — 11 | D | 20 | 17 | 3 | 1 | 2 |
| 1899 J | 27 | 13 | 14 | — 1 | 15 | 1903 J | 25 | 18 | 7 | 0 | 7 | 1907 J | 19 | 13 | 6 | — 8 | 14 |
| F | 10 | 18 | — 8 | — 9 | 1 | F | 15 | 25 | — 10 | — 13 | 3 | F | 10 | 17 | — 7 | — 4 | — 3 |
| M | 18 | 27 | — 9 | — 9 | 0 | M | 19 | 21 | — 2 | — 5 | 3 | M | 13 | 11 | 2 | — 13 | 15 |
| A | 17 | 24 | — 7 | — 10 | 3 | A | 15 | 14 | 1 | 3 | — 2 | A | 11 | 18 | — 7 | 1 | — 8 |
| M | 17 | 15 | 2 | 3 | — 1 | M | 18 | 14 | 4 | — 6 | 10 | M | 18 | 18 | 0 | — 1 | 1 |
| J | 21 | 11 | 10 | — 6 | 16 | J | 12 | 14 | — 2 | 0 | — 2 | J | 9 | 21 | — 12 | — 11 | 1 |
| J | 6 | 29 | — 23 | — 16 | — 7 | J | 3 | 35 | — 32 | — 16 | — 16 | J | 5 | 23 | — 18 | — 13 | — 5 |
| A | 11 | 29 | — 18 | — 10 | — 8 | A | 5 | 30 | — 25 | — 20 | — 5 | A | 3 | 28 | — 25 | — 23 | — 2 |
| S | 8 | 29 | — 21 | — 10 | — 11 | S | 20 | 19 | 1 | — 4 | 5 | S | 16 | 20 | — 4 | — 17 | 13 |
| O | 18 | 26 | — 8 | — 15 | 7 | O | 22 | 13 | 9 | 8 | 1 | O | 16 | 17 | — 1 | 4 | — 5 |
| N | 13 | 21 | — 8 | — 17 | 9 | N | 16 | 25 | — 9 | — 9 | 0 | N | 17 | 18 | — 1 | 9 | — 10 |
| D | 47 | 6 | 41 | 30 | 11 | D | 32 | 6 | 26 | 17 | 9 | D | 24 | 12 | 12 | 16 | — 4 |
| 1900 J | 21 | 19 | 2 | 10 | — 8 | 1904 J | 11 | 26 | — 15 | — 4 | — 11 | 1908 J | 11 | 26 | — 15 | — 12 | — 3 |
| F | 41 | 11 | 30 | 23 | 7 | F | 33 | 12 | 21 | 26 | — 5 | F | 19 | 12 | 7 | — 11 | 18 |
| M | 23 | 21 | 2 | 9 | — 7 | M | 32 | 13 | 19 | 24 | — 5 | M | 29 | 12 | 17 | 18 | — 1 |
| A | 21 | 21 | 0 | — 2 | 2 | A | 14 | 20 | — 6 | — 10 | 4 | A | 11 | 19 | — 8 | 7 | — 15 |
| M | 10 | 18 | — 8 | — 8 | 0 | M | 12 | 25 | — 13 | — 6 | — 7 | M | 13 | 13 | 0 | — 8 | 8 |
| J | 13 | 23 | — 10 | — 13 | 3 | J | 8 | 23 | — 15 | — 15 | 0 | J | 4 | 25 | — 21 | — 12 | — 9 |
| J | 6 | 24 | — 18 | — 17 | — 1 | J | 8 | 21 | — 13 | — 23 | 10 | J | 5 | 24 | — 19 | — 9 | — 10 |
| A | 13 | 14 | — 1 | — 2 | 1 | A | 6 | 30 | — 24 | — 22 | — 2 | A | 7 | 26 | — 19 | — 15 | — 4 |
| S | 7 | 27 | — 20 | — 20 | 0 | S | 20 | 13 | 7 | 6 | 1 | S | 10 | 23 | — 13 | — 12 | — 1 |
| O | 15 | 20 | — 5 | — 7 | 2 | O | 12 | 27 | — 15 | — 3 | — 12 | O | 28 | 12 | 16 | 11 | 5 |
| N | 32 | 6 | 26 | 16 | 10 | N | 13 | 24 | — 11 | — 6 | — 5 | N | 15 | 28 | — 13 | — 3 | 10 |
| D | 15 | 31 | — 16 | — 4 | — 12 | D | 21 | 15 | 6 | — 8 | 14 | D | 26 | 11 | 15 | 4 | 11 |

Die Resultante der Ströme nach W—N—O ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet und positiv gerechnet
» » » » » O—S—W » » einwärtsgehender » » » negativ .
Die Wind- und Stromrichtungen sind missweisend.

*Tabelle 12.* **SCHULTZ's GRUND.** 56° 08',9 N. Br. 11° 11',2 Ö. L.

Monatsmittel der beobachteten Ströme und entsprechende berechnete Werte.

Zur Berechnung der Stromstärke s in $^{cm}/_{sec}$ wurde folgende Formel benutzt:

$s = 44{,}7 - 4{,}3\,N + 0{,}8\,NO - 1{,}6\,O + 2{,}1\,SO - 8{,}1\,S - 11{,}9\,SW - 13{,}1\,W - 12{,}3\,NW,$

wo N, NO ... das Produkt der relativen Häufigkeit und mittleren Stärke, vermehrt durch 3 Einheiten des Windes nach Beauforts Skala (0—12) bezeichnen, indem die Buchstaben die Richtung des Windes angeben.

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 J | 29 | 15 | 14 | 25 | — 11 | 1901 J | 22 | 23 | — 1 | 0 | — 1 | 1905 J | 28 | 33 | — 5 | — 10 | 5 |
| F | | | | | | F | | | | | | F | 26 | 26 | 0 | — 10 | 10 |
| M | 40 | 11 | 29 | 12 | 17 | M | | | | | | M | 35 | 9 | 26 | 15 | 11 |
| A | 27 | 9 | 18 | 19 | — 1 | A | 31 | 15 | 16 | 14 | 2 | A | 28 | 27 | 1 | 2 | — 1 |
| M | 26 | 11 | 15 | 12 | 3 | M | 43 | 14 | 29 | 20 | 9 | M | 32 | 11 | 21 | 10 | 11 |
| J | 11 | 18 | — 7 | 4 | — 11 | J | 14 | 23 | — 9 | — 3 | — 6 | J | 32 | 13 | 19 | 17 | 2 |
| J | 17 | 27 | — 10 | — 4 | — 6 | J | 29 | 15 | 14 | 12 | 2 | J | 5 | 39 | — 34 | — 16 | — |
| A | 21 | 19 | 2 | 5 | — 3 | A | 16 | 36 | — 20 | — 13 | — 7 | A | 27 | 21 | 6 | — 5 | 11 |
| S | 11 | 30 | — 19 | — 20 | 1 | S | 37 | 12 | 25 | 32 | — 7 | S | 25 | 33 | — 8 | — 10 | 2 |
| O | 25 | 18 | 7 | 6 | 1 | O | 16 | 23 | — 7 | 6 | — 13 | O | 22 | 33 | — 11 | — 7 | — 4 |
| N | 14 | 38 | — 24 | — 13 | — 11 | N | 10 | 36 | — 26 | — 21 | — 5 | N | 24 | 25 | — 1 | 8 | — 9 |
| D | 20 | 19 | 1 | — 8 | 9 | D | 32 | 15 | 17 | 1 | 16 | D | 15 | 38 | — 23 | — 22 | — 1 |
| 1898 J | 7 | 37 | — 30 | — 27 | — 3 | 1902 J | 13 | 42 | — 29 | — 28 | — 1 | 1906 J | 15 | 32 | — 17 | — 13 | — 4 |
| F | 34 | 17 | 17 | — 3 | 20 | F | 29 | 9 | 20 | 14 | 6 | F | 22 | 23 | — 1 | — 3 | 2 |
| M | 32 | 13 | 19 | 9 | 10 | M | 23 | 19 | 4 | 6 | — 2 | M | 23 | 33 | — 10 | — 15 | 5 |
| A | 37 | 9 | 28 | 22 | 6 | A | 39 | 11 | 28 | 31 | — 3 | A | 24 | 13 | 11 | 14 | — 3 |
| M | 27 | 23 | 4 | 3 | 1 | M | 12 | 23 | — 11 | 11 | — 22 | M | 31 | 7 | 24 | 19 | 5 |
| J | 24 | 17 | 7 | — 5 | 12 | J | 28 | 15 | 13 | 12 | 1 | J | 23 | 24 | — 1 | 3 | — 4 |
| J | 14 | 26 | — 12 | — 27 | 15 | J | 16 | 25 | — 9 | — 27 | 18 | J | 22 | 25 | — 3 | — 6 | 3 |
| A | 19 | 17 | 2 | — 3 | 5 | A | 16 | 25 | — 9 | — 16 | 7 | A | 14 | 34 | — 20 | — 12 | — 8 |
| S | 15 | 33 | — 18 | — 10 | — 8 | S | 25 | 22 | 3 | — 5 | 8 | S | 35 | 22 | 13 | 9 | 4 |
| O | 24 | 21 | 3 | 13 | — 10 | O | 17 | 24 | — 7 | — 2 | — 5 | O | 24 | 26 | — 2 | 8 | — 10 |
| N | 19 | 27 | — 8 | — 1 | — 7 | N | 25 | 24 | 1 | 13 | — 12 | N | 18 | 41 | — 23 | — 8 | — 15 |
| D | 6 | 44 | — 38 | — 41 | 3 | D | 15 | 34 | — 19 | 3 | — 22 | D | 33 | 20 | 13 | — 4 | 17 |
| 1899 J | 26 | 15 | 11 | — 11 | 22 | 1903 J | 27 | 27 | 0 | 0 | 0 | 1907 J | 22 | 40 | — 18 | — 12 | — 6 |
| F | 27 | 10 | 17 | 4 | 13 | F | 7 | 40 | — 33 | — 36 | 3 | F | 14 | 35 | — 21 | — 8 | — 13 |
| M | 22 | 28 | — 6 | — 9 | 3 | M | 30 | 17 | 13 | — 2 | 15 | M | 18 | 22 | — 4 | — 10 | 6 |
| A | 24 | 21 | 3 | — 7 | 10 | A | 27 | 11 | 16 | 10 | 6 | A | 31 | 17 | 14 | 15 | — 1 |
| M | 32 | 15 | 17 | 17 | 0 | M | 35 | 14 | 21 | 13 | 8 | M | 29 | 20 | 9 | 10 | — 1 |
| J | 24 | 13 | 11 | 4 | 7 | J | 29 | 13 | 16 | 13 | 3 | J | 16 | 21 | — 5 | — 8 | 3 |
| J | 20 | 26 | — 6 | 0 | — 6 | J | 18 | 25 | — 7 | — 5 | — 2 | J | 9 | 21 | — 12 | — 11 | — 1 |
| A | 27 | 21 | 6 | 1 | 5 | A | 8 | 43 | — 35 | — 38 | 3 | A | 6 | 45 | — 39 | — 36 | — 3 |
| S | 12 | 39 | — 27 | — 18 | — 9 | S | 33 | 14 | 19 | 14 | 5 | S | 22 | 25 | — 3 | — 12 | 9 |
| O | 12 | 40 | — 28 | — 23 | — 5 | O | 22 | 21 | 1 | 0 | 1 | O | 24 | 9 | 15 | 20 | — 5 |
| N | 11 | 41 | — 30 | — 31 | 1 | N | 14 | 35 | — 21 | — 15 | — 6 | N | 18 | 18 | 0 | 14 | — 14 |
| D | 52 | 8 | 44 | 22 | 22 | D | 30 | 6 | 24 | 29 | — 5 | D | 18 | 17 | 1 | 8 | — 7 |
| 1900 J | 21 | 26 | — 5 | 16 | — 21 | 1904 J | 11 | 26 | — 15 | — 7 | — 8 | 1908 J | 6 | 40 | — 34 | — 30 | — 4 |
| F | 36 | 12 | 24 | 17 | 7 | F | 36 | 16 | 20 | 20 | 0 | F | 9 | 27 | — 18 | — 22 | 4 |
| M | 29 | 22 | 7 | 11 | — 4 | M | 48 | 14 | 34 | 28 | 6 | M | 43 | 6 | 37 | 34 | 3 |
| A | 21 | 24 | — 3 | 2 | — 5 | A | 24 | 26 | — 2 | — 3 | 1 | A | 26 | 12 | 14 | 24 | — 10 |
| M | 38 | 10 | 28 | 11 | 17 | M | 33 | 15 | 18 | 4 | 14 | M | 21 | 17 | 4 | 4 | 0 |
| J | 21 | 16 | 5 | 10 | — 5 | J | 14 | 32 | — 18 | — 4 | — 14 | J | 18 | 21 | — 3 | 8 | — 11 |
| J | 22 | 21 | 1 | — 4 | 5 | J | 21 | 18 | 3 | — 6 | 9 | J | 19 | 16 | 3 | 5 | — 2 |
| A | 26 | 15 | 11 | 8 | 3 | A | 13 | 31 | — 18 | — 21 | 3 | A | 8 | 33 | — 25 | — 17 | — 8 |
| S | 9 | 41 | — 32 | — 14 | — 18 | S | 30 | 11 | 19 | 19 | 0 | S | 16 | 21 | — 5 | — 6 | 1 |
| O | 13 | 28 | — 15 | — 18 | 3 | O | 13 | 31 | — 18 | — 4 | — 14 | O | 27 | 19 | 8 | 18 | — 10 |
| N | 36 | 10 | 26 | 18 | 8 | N | 9 | 37 | — 28 | — 23 | — 5 | N | 10 | 40 | — 30 | — 14 | — 16 |
| D | 17 | 44 | — 27 | — 21 | — 6 | D | 16 | 30 | — 14 | — 18 | 4 | D | 30 | 20 | 10 | 1 | 9 |

Die Resultante der Ströme nach N 11 W—O—S 11 W ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet und positiv gerechnet.
» » » » » S 11 O—W—N 11 W » » einwärtsgehender » » » negativ »
Die Wind- und Stromrichtungen sind missweisend.

## *Tabelle 13.* LAPPEGRUNDEN. 56° 04′,1 N. Br. 12° 37′,1 Ö. L.

### Monatsmittel der beobachteten Ströme und entsprechende berechnete Werte.

Zur Berechnung der Stromstärke s in $^{cm}/_{sec}$ wurde folgende Formel benutzt:

$$s = 43{,}1 + 2{,}4\,N + 8{,}3\,NO + 2{,}1\,O + 8{,}2\,SO + 7{,}6\,S - 5{,}2\,SW - 12{,}8\,W - 8{,}0\,NW,$$

wo N, NO ... das Produkt der relativen Häufigkeit und mittleren Stärke, vermehrt durch 3 Einheiten des Windes nach Beauforts Skala (0—12) bezeichnen, indem die Buchstaben die Richtung des Windes angeben.

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 J | 63 | 18 | 45 | 60 | — 15 | 1901 J | 58 | 22 | 36 | 39 | — 3 | 1905 J | 51 | 25 | 26 | 23 | 3 |
| F | | | | | | F | | | | | | F | 56 | 16 | 40 | 25 | 15 |
| M | 89 | 20 | 69 | 50 | 19 | M | 82 | 9 | 73 | 62 | 11 | M | 58 | 7 | 51 | 65 | — 14 |
| A | 74 | 10 | 64 | 50 | 14 | A | 68 | 16 | 52 | 47 | 5 | A | 51 | 21 | 30 | 33 | — 3 |
| M | 69 | 8 | 61 | 50 | 11 | M | 57 | 11 | 46 | 45 | 1 | M | 46 | 6 | 40 | 37 | 3 |
| J | 40 | 13 | 27 | 34 | — 7 | J | 43 | 22 | 21 | 31 | — 10 | J | 40 | 12 | 28 | 46 | — 18 |
| J | 46 | 22 | 24 | 25 | — 1 | J | 58 | 9 | 49 | 36 | 13 | J | 27 | 18 | 9 | 6 | 3 |
| A | 58 | 14 | 44 | 46 | — 2 | A | 34 | 31 | 3 | 24 | — 21 | A | 49 | 12 | 37 | 29 | 8 |
| S | 36 | 37 | — 1 | 21 | — 22 | S | 75 | 7 | 68 | 71 | — 3 | S | 57 | 16 | 41 | 29 | 12 |
| O | 64 | 10 | 54 | 43 | 11 | O | 52 | 23 | 29 | 49 | — 20 | O | 47 | 18 | 29 | 42 | — 13 |
| N | 38 | 37 | 1 | 29 | — 28 | N | 34 | 31 | 3 | 14 | 11 | N | 56 | 14 | 42 | 51 | — 9 |
| D | 73 | 13 | 60 | 47 | 13 | D | 78 | 10 | 68 | 56 | 12 | D | 40 | 24 | 16 | 17 | — 1 |
| 1898 J | 31 | 28 | 3 | 12 | — 9 | 1902 J | 38 | 44 | — 6 | 4 | — 10 | 1906 J | 40 | 17 | 23 | 33 | — 10 |
| F | 87 | 12 | 75 | 44 | 31 | F | 80 | 3 | 77 | 55 | 22 | F | 62 | 7 | 55 | 50 | 5 |
| M | 80 | 17 | 63 | 47 | 16 | M | 42 | 20 | 22 | 48 | — 26 | M | 34 | 21 | 13 | 10 | 3 |
| A | 81 | 10 | 71 | 53 | 18 | A | 71 | 10 | 61 | 60 | 1 | A | 53 | 5 | 48 | 43 | 5 |
| M | 51 | 20 | 31 | 42 | — 11 | M | 59 | 15 | 44 | 45 | — 1 | M | 48 | 9 | 39 | 52 | — 13 |
| J | 48 | 15 | 33 | 32 | 1 | J | 58 | 12 | 46 | 38 | 8 | J | 29 | 16 | 13 | 20 | — 7 |
| J | 34 | 19 | 15 | 2 | 13 | J | 42 | 22 | 20 | 8 | 12 | J | 43 | 12 | 31 | 21 | 10 |
| A | 62 | 9 | 53 | 33 | 20 | A | 52 | 10 | 42 | 13 | 29 | A | 34 | 13 | 21 | 16 | 5 |
| S | 43 | 25 | 18 | 23 | — 5 | S | 56 | 15 | 41 | 31 | 10 | S | 58 | 13 | 45 | 41 | 4 |
| O | 68 | 15 | 53 | 44 | 9 | O | 52 | 18 | 34 | 39 | — 5 | O | 64 | 16 | 48 | 58 | — 10 |
| N | 61 | 18 | 43 | 41 | 2 | N | 63 | 13 | 50 | 53 | — 3 | N | 30 | 32 | — 2 | 30 | — 32 |
| D | 30 | 35 | — 5 | — 2 | — 3 | D | 39 | 32 | 7 | 39 | — 32 | D | 57 | 9 | 48 | 46 | 2 |
| 1899 J | 80 | 12 | 68 | 32 | 36 | 1903 J | 57 | 29 | 28 | 32 | — 4 | 1907 J | 40 | 27 | 13 | 21 | — 8 |
| F | 68 | 10 | 58 | 37 | 21 | F | 36 | 32 | 4 | — 3 | 7 | F | 45 | 26 | 19 | 38 | — 19 |
| M | 48 | 32 | 16 | 17 | — 1 | M | 76 | 17 | 59 | 46 | 13 | M | 52 | 17 | 35 | 24 | 11 |
| A | 63 | 17 | 46 | 32 | 14 | A | 61 | 11 | 50 | 43 | 7 | A | 46 | 21 | 25 | 44 | — 19 |
| M | 56 | 9 | 47 | 47 | 0 | M | 56 | 10 | 46 | 39 | 7 | M | 50 | 8 | 42 | 43 | — 1 |
| J | 48 | 11 | 37 | 36 | 1 | J | 52 | 7 | 45 | 49 | — 4 | J | 41 | 12 | 29 | 34 | — 5 |
| J | 39 | 22 | 17 | 31 | — 14 | J | 40 | 24 | 16 | 27 | — 11 | J | 39 | 9 | 30 | 25 | 5 |
| A | 59 | 11 | 48 | 31 | 17 | A | 29 | 32 | — 3 | — 2 | — 1 | A | 29 | 17 | 12 | 0 | 12 |
| S | 42 | 19 | 23 | 23 | 0 | S | 74 | 6 | 68 | 48 | 20 | S | 44 | 14 | 30 | 23 | 7 |
| O | 37 | 23 | 14 | 15 | — 1 | O | 67 | 12 | 55 | 53 | 2 | O | 51 | 5 | 46 | 68 | — 22 |
| N | 42 | 20 | 22 | 11 | 11 | N | 42 | 35 | 7 | 30 | — 23 | N | 56 | 14 | 42 | 63 | — 21 |
| D | 107 | 8 | 99 | 65 | 34 | D | 89 | 2 | 87 | 78 | 9 | D | 60 | 10 | 50 | 61 | — 11 |
| 1900 J | 55 | 25 | 30 | 52 | — 22 | 1904 J | 55 | 23 | 32 | 43 | — 11 | 1908 J | 21 | 31 | — 10 | 3 | — 13 |
| F | 90 | 11 | 79 | 59 | 20 | F | 76 | 18 | 58 | 59 | — 1 | F | 59 | 15 | 44 | 22 | 22 |
| M | 58 | 21 | 37 | 46 | — 9 | M | 79 | 15 | 64 | 66 | — 2 | M | 76 | 3 | 73 | 78 | — 5 |
| A | 48 | 24 | 24 | 29 | — 5 | A | 45 | 24 | 21 | 33 | — 12 | A | 39 | 9 | 30 | 53 | — 23 |
| M | 73 | 12 | 61 | 39 | 22 | M | 66 | 15 | 51 | 41 | 10 | M | 47 | 11 | 36 | 36 | 0 |
| J | 50 | 8 | 42 | 38 | 4 | J | 27 | 27 | 0 | 16 | — 16 | J | 44 | 9 | 35 | 44 | — 9 |
| J | 45 | 14 | 31 | 26 | 5 | J | 55 | 10 | 45 | 22 | 23 | J | 44 | 7 | 37 | 41 | — 4 |
| A | 56 | 11 | 45 | 45 | 0 | A | 36 | 22 | 14 | 9 | 5 | A | 28 | 18 | 10 | 19 | — 9 |
| S | 28 | 29 | — 1 | 22 | — 23 | S | 61 | 7 | 54 | 55 | — 1 | S | 54 | 8 | 46 | 31 | 15 |
| O | 53 | 16 | 37 | 25 | 12 | O | 43 | 27 | 16 | 43 | — 27 | O | 52 | 8 | 44 | 52 | — 8 |
| N | 93 | 3 | 90 | 65 | 25 | N | 35 | 22 | 13 | 22 | — 9 | N | 24 | 37 | 13 | 30 | — 43 |
| D | 39 | 40 | — 1 | 11 | — 12 | D | 40 | 17 | 23 | 21 | 2 | D | 73 | 5 | 68 | 58 | 10 |

Die Resultante der Ströme nach N 22 W ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet und positiv gerechnet.
» » » » » S 22 O » » einwärtsgehender » » » negativ »
Die Wind- und Stromrichtungen sind missweisend.

## *Tabelle 14.* **DROGDEN.** 55° 33′,2 N. Br. 12° 43′,0 Ö. L.

### Monatsmittel der beobachteten Ströme und entsprechende berechnete Werte.

Zur Berechnung der Stromstärke s in $^{cm}/_{sec}$ wurde folgende Formel benutzt:

$$s = 18{,}7 + 3{,}9\,N + 1{,}2\,NO - 0{,}7\,O + 3{,}6\,SO - 0{,}8\,S - 3{,}9\,SW - 10{,}1\,W + 0{,}6\,NW,$$

wo N, NO ... das Produkt der relativen Häufigkeit und mittleren Stärke, vermehrt durch 3 Einheiten des Windes nach Beauforts Skala (0—12) bezeichnen, indem die Buchstaben die Richtung des Windes angeben.

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom a | Berechneter resultierender Strom b | Differenz a—b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 J | 28 | 18 | 10 | 17 | — 7 | 1901 J | 20 | 20 | 0 | 6 | — 6 | 1905 J | 32 | 30 | 2 | 1 | 1 |
| F | | | | | | F | | | | | | F | 29 | 19 | 10 | 0 | 10 |
| M | 37 | 16 | 21 | 12 | 9 | M | | | | | | M | 22 | 13 | 9 | 16 | — 7 |
| A | 31 | 9 | 22 | 19 | 3 | A | 27 | 19 | 8 | 10 | — 2 | A | 25 | 24 | 1 | 4 | — 3 |
| M | 19 | 10 | 9 | 14 | — 5 | M | 24 | 14 | 10 | 16 | — 6 | M | 20 | 6 | 14 | 10 | 4 |
| J | 20 | 15 | 5 | 7 | — 2 | J | 21 | 21 | 0 | 4 | — 4 | J | 24 | 16 | 8 | 12 | — 4 |
| J | 18 | 19 | — 1 | 8 | — 9 | J | 18 | 10 | 8 | 13 | — 5 | J | 19 | 17 | 2 | 0 | 2 |
| A | 22 | 18 | 4 | 10 | — 6 | A | 20 | 25 | — 5 | 7 | — 12 | A | 28 | 16 | 12 | 3 | 9 |
| S | 22 | 30 | — 8 | — 5 | — 3 | S | 29 | 12 | 17 | 21 | — 4 | S | 37 | 18 | 19 | 2 | 17 |
| O | 25 | 13 | 12 | 9 | 3 | O | 26 | 28 | — 2 | 12 | — 14 | O | 23 | 18 | 5 | 6 | — 1 |
| N | 14 | 32 | — 18 | — 1 | — 17 | N | 23 | 29 | — 6 | — 3 | — 3 | N | 24 | 22 | 2 | 9 | — 7 |
| D | 24 | 18 | 6 | 6 | 0 | D | 36 | 16 | 20 | 7 | 13 | D | 28 | 27 | 1 | — 4 | 5 |
| 1898 J | 19 | 29 | — 10 | — 6 | — 4 | 1902 J | 21 | 37 | — 16 | — 8 | — 8 | 1906 J | 24 | 25 | — 1 | 0 | — 1 |
| F | 32 | 14 | 18 | 7 | 11 | F | 26 | 6 | 20 | 12 | 8 | F | 27 | 13 | 14 | 7 | 7 |
| M | 29 | 16 | 13 | 12 | 1 | M | 20 | 18 | 2 | 12 | — 10 | M | 32 | 32 | 0 | — 6 | 6 |
| A | 29 | 8 | 21 | 15 | 6 | A | 29 | 9 | 20 | 16 | 4 | A | 25 | 9 | 16 | 14 | 2 |
| M | 18 | 22 | — 4 | 10 | — 14 | M | 24 | 16 | 8 | 13 | — 5 | M | 19 | 12 | 7 | 16 | — 9 |
| J | 19 | 12 | 7 | 5 | 2 | J | 22 | 9 | 13 | 17 | — 4 | J | 18 | 21 | — 3 | 7 | — 10 |
| J | 18 | 20 | — 2 | — 9 | 7 | J | 15 | 19 | — 4 | — 7 | 3 | J | 35 | 23 | 12 | 2 | 10 |
| A | 17 | 11 | 6 | 6 | 0 | A | 17 | 8 | 9 | — 2 | 11 | A | 21 | 19 | 2 | — 1 | 3 |
| S | 30 | 19 | 11 | 9 | 2 | S | 24 | 12 | 12 | 6 | 6 | S | 39 | 18 | 21 | 10 | 11 |
| O | 29 | 22 | 7 | 11 | — 4 | O | 27 | 22 | 5 | 6 | — 1 | O | 35 | 27 | 8 | 14 | — 6 |
| N | 26 | 24 | 2 | 4 | — 2 | N | 31 | 14 | 17 | 11 | 6 | N | 15 | 38 | — 23 | — 3 | — 20 |
| D | 17 | 45 | — 28 | — 15 | — 13 | D | 21 | 36 | — 15 | 7 | — 22 | D | 42 | 17 | 25 | 8 | 17 |
| 1899 J | 30 | 13 | 17 | 0 | 17 | 1903 J | 25 | 29 | — 4 | 2 | — 6 | 1907 J | 35 | 32 | 3 | 3 | 0 |
| F | 22 | 9 | 13 | 7 | 6 | F | 24 | 30 | — 6 | — 12 | 6 | F | 24 | 29 | — 5 | 4 | — 9 |
| M | 21 | 27 | — 6 | 2 | — 8 | M | 31 | 20 | 11 | 10 | 1 | M | 28 | 20 | 8 | 7 | 1 |
| A | 27 | 18 | 9 | 5 | 4 | A | 28 | 10 | 18 | 10 | 8 | A | 24 | 27 | — 3 | 10 | — 13 |
| M | 25 | 9 | 16 | 16 | 0 | M | 23 | 10 | 13 | 8 | 5 | M | 32 | 12 | 20 | 10 | 10 |
| J | 22 | 8 | 14 | 10 | 4 | J | 23 | 8 | 15 | 16 | — 1 | J | 19 | 21 | — 2 | 4 | — 6 |
| J | 14 | 22 | — 8 | 11 | — 19 | J | 20 | 19 | 1 | 7 | — 6 | J | 22 | 9 | 13 | 7 | 6 |
| A | 32 | 12 | 20 | 11 | 9 | A | 21 | 36 | — 15 | — 17 | 2 | A | 27 | 30 | — 3 | — 15 | 12 |
| S | 21 | 20 | 1 | — 4 | 5 | S | 38 | 8 | 30 | 12 | 18 | S | 26 | 18 | 8 | 3 | 5 |
| O | 22 | 31 | — 9 | — 7 | — 2 | O | 32 | 19 | 13 | 7 | 6 | O | 26 | 12 | 14 | 16 | — 2 |
| N | 20 | 26 | — 6 | — 9 | 3 | N | 28 | 31 | — 3 | 4 | — 7 | N | 24 | 26 | — 2 | 15 | — 17 |
| D | 44 | 7 | 37 | 19 | 18 | D | 29 | 3 | 26 | 21 | 5 | D | 36 | 22 | 14 | 15 | — 1 |
| 1900 J | 27 | 29 | — 2 | 11 | — 13 | 1904 J | 29 | 30 | — 1 | 6 | — 7 | 1908 J | 22 | 49 | — 27 | — 13 | — 14 |
| F | 30 | 13 | 17 | 13 | 4 | F | 42 | 16 | 26 | 14 | 12 | F | 41 | 22 | 19 | 1 | 18 |
| M | 25 | 13 | 12 | 16 | — 4 | M | 35 | 21 | 14 | 20 | — 6 | M | 36 | 8 | 28 | 21 | 7 |
| A | 20 | 25 | — 5 | 6 | — 11 | A | 19 | 32 | — 13 | 2 | — 15 | A | 31 | 13 | 18 | 16 | 2 |
| M | 23 | 11 | 12 | 12 | 0 | M | 32 | 15 | 17 | 7 | 10 | M | 31 | 21 | 10 | 8 | 2 |
| J | 18 | 10 | 8 | 6 | 2 | J | 20 | 30 | — 10 | 2 | — 12 | J | 24 | 17 | 7 | 13 | — 6 |
| J | 19 | 18 | 1 | 2 | — 1 | J | 19 | 11 | 8 | 6 | 2 | J | 19 | 10 | 9 | 11 | — 2 |
| A | 21 | 11 | 10 | 10 | 0 | A | 27 | 22 | 5 | — 6 | 11 | A | 21 | 23 | — 2 | — 2 | 0 |
| S | 18 | 25 | — 7 | 0 | — 7 | S | 29 | 10 | 19 | 16 | 3 | S | 34 | 13 | 21 | 4 | 17 |
| O | 23 | 18 | 5 | 0 | 5 | O | 32 | 30 | 2 | 11 | — 9 | O | 31 | 17 | 14 | 12 | 2 |
| N | 31 | 8 | 23 | 15 | 8 | N | 24 | 28 | — 4 | — 5 | 1 | N | 22 | 48 | — 26 | — 2 | — 24 |
| D | 18 | 41 | — 23 | — 9 | — 14 | D | 24 | 27 | — 3 | — 5 | 2 | D | 41 | 15 | 26 | 13 | 13 |

Die Resultante der Ströme nach N 45 W—N—S 45 O ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet und positiv gerechnet.
» » » » » S 45 O—S—N 45 W » » einwärtsgehender » » » negativ «
Die Wind- und Stromrichtungen sind missweisend.

*Tabelle 15.* **GJEDSER REV.** 54° 27',9 N. Br. 12° 09',7 Ö. L.

| Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom | Jahr und Monat | Monatsmittel des beobachteten Stroms: Auswärtsgehender Strom | Einwärtsgehender Strom | Resultierender Strom |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 J | 18 | 11 | 7 | 1901 J | 17 | 5 | 12 | 1905 J | 20 | 16 | 4 |
| F | | | | F | 26 | 9 | 17 | F | 23 | 9 | 14 |
| M | 21 | 7 | 14 | M | 17 | 7 | 10 | M | 20 | 6 | 14 |
| A | 23 | 8 | 15 | A | 11 | 9 | 2 | A | 13 | 16 | — 3 |
| M | 16 | 6 | 10 | M | 11 | 6 | 5 | M | 17 | 2 | 15 |
| J | 14 | 5 | 9 | J | 9 | 15 | — 6 | J | 21 | 9 | 12 |
| J | 19 | 8 | 11 | J | 14 | 3 | 11 | J | 15 | 13 | 2 |
| A | 18 | 7 | 11 | A | 14 | 14 | 0 | A | 20 | 10 | 10 |
| S | 23 | 16 | 7 | S | 20 | 7 | 13 | S | 14 | 12 | 2 |
| O | 22 | 3 | 19 | O | 18 | 15 | 3 | O | 18 | 19 | — 1 |
| N | 15 | 17 | — 2 | N | 14 | 18 | — 4 | N | 17 | 12 | 5 |
| D | 22 | 6 | 16 | D | 18 | 5 | 13 | D | 18 | 12 | 6 |
| 1898 J | 12 | 10 | 2 | 1902 J | 15 | 15 | 0 | 1906 J | 12 | 11 | 1 |
| F | 37 | 4 | 33 | F | 22 | 2 | 20 | F | 24 | 4 | 20 |
| M | 15 | 4 | 11 | M | 16 | 8 | 8 | M | 18 | 12 | 6 |
| A | 13 | 1 | 12 | A | 18 | 7 | 11 | A | 15 | 4 | 11 |
| M | 9 | 12 | — 3 | M | 9 | 13 | — 4 | M | 19 | 10 | 9 |
| J | 15 | 5 | 10 | J | 17 | 1 | 16 | J | 13 | 9 | 4 |
| J | 18 | 10 | 8 | J | 22 | 12 | 10 | J | 12 | 10 | 2 |
| A | 23 | 5 | 18 | A | 21 | 5 | 16 | A | 16 | 9 | 7 |
| S | 13 | 8 | 5 | S | 23 | 6 | 17 | S | 18 | 6 | 12 |
| O | 11 | 8 | 3 | O | 8 | 12 | — 4 | O | 14 | 11 | 3 |
| N | 13 | 10 | 3 | N | 20 | 7 | 13 | N | 5 | 17 | — 12 |
| D | 12 | 13 | — 1 | D | 9 | 19 | — 10 | D | 23 | 5 | 18 |
| 1899 J | 23 | 6 | 17 | 1903 J | 18 | 15 | 3 | 1907 J | 21 | 6 | 15 |
| F | 19 | 10 | 9 | F | 23 | 11 | 12 | F | 12 | 9 | 3 |
| M | 22 | 14 | 8 | M | 32 | 12 | 20 | M | 19 | 4 | 15 |
| A | 18 | 5 | 13 | A | 22 | 7 | 15 | A | 11 | 7 | 4 |
| M | 8 | 8 | 0 | M | 12 | 4 | 8 | M | 14 | 7 | 7 |
| J | 15 | 6 | 9 | J | 20 | 4 | 16 | J | 20 | 2 | 18 |
| J | 10 | 12 | — 2 | J | 17 | 9 | 8 | J | 14 | 7 | 7 |
| A | 21 | 7 | 14 | A | 22 | 11 | 11 | A | 19 | 5 | 14 |
| S | 18 | 5 | 13 | S | 24 | 1 | 23 | S | 21 | 6 | 15 |
| O | 12 | 9 | 3 | O | 15 | 12 | 3 | O | 20 | 2 | 18 |
| N | 22 | 10 | 12 | N | 15 | 13 | 2 | N | 14 | 16 | — 2 |
| D | 31 | 2 | 29 | D | 18 | 3 | 15 | D | 12 | 7 | 5 |
| 1900 J | 10 | 18 | — 8 | 1904 J | 11 | 14 | — 3 | 1908 J | 9 | 17 | — 8 |
| F | 20 | 9 | 11 | F | 18 | 15 | 3 | F | 23 | 3 | 20 |
| M | 15 | 12 | 3 | M | 16 | 12 | 4 | M | 27 | 2 | 25 |
| A | 8 | 11 | — 3 | A | 12 | 15 | — 3 | A | 12 | 12 | 0 |
| M | 16 | 8 | 8 | M | 23 | 10 | 13 | M | 14 | 7 | 7 |
| J | 6 | 5 | 1 | J | 15 | 16 | — 1 | J | 16 | 6 | 10 |
| J | 11 | 8 | 3 | J | 19 | 3 | 16 | J | 12 | 3 | 9 |
| A | 17 | 4 | 13 | A | 15 | 9 | 6 | A | 12 | 16 | — 4 |
| S | 15 | 15 | 0 | S | 16 | 7 | 9 | S | 26 | 8 | 18 |
| O | 15 | 4 | 11 | O | 7 | 20 | — 13 | O | 18 | 5 | 13 |
| N | 17 | 2 | 15 | N | 16 | 15 | 1 | N | 5 | 21 | — 16 |
| D | 14 | 13 | 1 | D | 17 | 14 | 3 | D | 20 | 6 | 14 |

Die Resultante der Ströme nach S 11 O—W—N 11 W ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet und positiv gerechnet.
» » » » » N 11 W—O—S 11 O » » einwärtsgehender » » » negativ »
Die Wind- und Stromrichtungen sind missweisend.

Man muss sich erinnern, dass der bzw. nach NNW und NW laufende Strom bei Horns Rev und Vyl Feuerschiff als negativ gerechnet worden ist, indem er als »einwärtsgehender« Strom annehmbar bewirkt, dass ein Teil seiner Wassermassen durch das Kattegat hinabgesandt werden; der diametral entgegengesetzte Strom bei den genannten Feuerschiffen ist als positiv (»auswärtsgehend«) gerechnet.

*Tabelle 16.*

| Feuerschiff | Mittlerer Wert M des resultierenden Stroms in der ganzen Periode 1897—1908 | Mittlerer Fehler f des Monatsmittels des resultierenden Stroms, durch Ausgleichung berechnet | Mittlerer Fehler F des Monatsmittels des resultierenden Stroms, wenn dieser theoretisch als konstant dem mittleren Werte M der ganzen Periode 1897—1908 gleich angesetzt wird | $Q = \frac{f}{F}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Horns Rev. . . . . | — 18,0 | 6,8 | 9,1 | 0,75 |
| Vyl . . . . . | — 9,6 | 3,3 | 5,4 | 0,61 |
| Skagens Rev . . . . | 5,6 | 9,9 | 23,4 | 0,42 |
| Læsø Rende . . . . | 21,4 | 6,9 | 15,7 | 0,44 |
| Læsø Trindel . . . . | 16,1 | 8,1 | 12,8 | 0,63 |
| Kobbergrunden . . | 5,0 | 4,0 | 7,1 | 0,56 |
| Anholt Knob . . . . | — 3,1 | 8,2 | 14,2 | 0,58 |
| Schultz's Grund . . | — 0,6 | 9,3 | 18,1 | 0,51 |
| Lappegrunden . . . | 36,3 | 14,7 | 22,5 | 0,65 |
| Drogden . . . . . | 6,1 | 9,0 | 12,0 | 0,75 |
| Gjedser Rev. . . . . | 7,7 | 8,1 | 8,3 | 0,98 |

Der mittlere Wert M (Tab. 16, Kolumne 2) stimmt nicht ganz überein mit den Tab. 2 unter »Differenz« aufgeführten Werten, obgleich durch die Zahlen an beiden Orten im wesentlichen dasselbe ausgedrückt wird; die Art und Weise, in der sie gefunden worden sind, ist etwas verschieden, indem M durch einfache Bildung von mittleren Zahlen aus den in den Tab. 5—15 unter a angeführten Werten gefunden worden ist.

Mittlerer Fehler der Monatsmittel der beobachteten Ströme

Da es von Interesse sein wird, einen zahlenmässigen Ausdruck der Übereinstimmung zu besitzen, die zwischen den aus den Strombeobachtungen gefundenen (»beobachteten«) Monatsmitteln und den aus dem Winde berechneten entsprechenden Werten besteht, habe ich zu dem Ende verschiedene Grössen berechnet.

Die dritte Kolumne von Tab. 16 enthält den mittleren Fehler f des einzelnen Monatsmittels der beobachteten Ströme; dieser mittlere Fehler ist nach der Formel

$$f = \sqrt{\frac{\Sigma (a - b)^2}{N - 9}}$$

berechnet, wo f den mittleren Fehler des beobachteten Monatsmittels, a das beobachtete und b das berechnete Monatsmittel bezeichnen. N ist die Anzahl der bei der Ausgleichung benutzten Monatsmittel; davon gab es ca. 144 für jedes Feuerschiff; die theoretischen Bedingungen, die durch die Normalgleichungen gegeben sind, sind im ganzen 9, weshalb die Quadratsumme durch N — 9 dividiert wird.

Wie man sieht, ist der mittlere Fehler, der von anderen Umständen herrührt, als von den von der Theorie vom Einfluss des Windes berücksichtigten für die verschiedenen Feuerschiffe sehr verschieden.

Wir nahmen oben (Seite 11) an, dass der mittlere Fehler, der wegen Beobachtungsfehlern der

Strombeobachtungen selbst in den beobachteten Monatsmitteln vorkommen muss, zu 3 cm/sec angesetzt werden kann.

Mittlere Fehler der berechneten Monatsmittel, die von Fehlern bei der Beobachtung der Windstärke, sowie Abrundungsfehlern herrühren

Es haften aber auch den Beobachtungen der Windstärke Fehler an, während die Häufigkeiten der verschiedenen Richtungen als fehlerfrei betrachtet werden können. Unter der Voraussetzung, dass die durch die Ausgleichung bestimmten Konstanten fehlerfrei sind, wollen wir somit untersuchen, wie gross der mittlere Fehler ist, dessen man wegen Beobachtungsfehlern bei der Beobachtung der Windstärke und wegen der bei der Berechnung von b angewandten Verkürzungen der Anzahl der Ziffern gewärtig sein muss.

Bei der Berechnung der Konstanten der Formel für den Mittelstrom Seite 14 ist die Grösse $\varphi = \frac{p}{100} \cdot (V_m + 3)$ mit einer Dezimalstelle berechnet worden; die Grösse $\varphi$ erhielt dabei höchstens 2 bedeutende Ziffern. Das Quadrat des mittleren Fehlers $\sigma^2_{(\varphi)}$ der berechneten Zahl $\varphi$ ist ausgedrückt durch

$$\sigma^2_{(\varphi)} = \left(\frac{p}{100}\right)^2 \cdot \sigma^2_{(Vm)};$$

da $V_m$ als mittlere Zahl aus ca. $\frac{p}{100} \cdot 180$ Beobachtungen entstanden ist, so ist

$$\sigma^2_{(Vm)} = \frac{100}{p \cdot 180} \cdot \sigma^2_{(v)},$$

wo $\sigma^2_{(v)}$ das Quadrat des mittleren Fehlers der einzelnen Beobachtung der Windstärke bezeichnet. Wird angenommen, dass der mittlere Fehler einer Windbeobachtung 1,5 Einheiten nach der Skala (0—12) beträgt, hat man

$$\sigma^2_{(\varphi)} = \frac{1}{80} \cdot \frac{p}{100},$$

woraus folgt

$$\sigma^2_{(\varphi)} = \frac{1}{80} \cdot \frac{\varphi}{V_m + 3}.$$

Bezeichnen wir das berechnete Monatsmittel des Stroms als $S_m$, indem

$$S_m = C + n \cdot \varphi_n + no \cdot \varphi_{no} + \cdots,$$

so wird

$$\sigma^2_{(Sm)} = n^2 \cdot \left(\frac{1}{80} \cdot \frac{\varphi_n}{V_{m,n} + 3}\right) + (no)^2 \cdot \left(\frac{1}{80} \cdot \frac{\varphi_{no}}{V_{m,no} + 3}\right) + \cdots$$

gesetzt, wo n, no, o ··· die Konstanten der Tab 4 bezeichnen und wo $\varphi_n$, $\varphi_{no}$ ··· und $V_{m,n}$, $V_{m,no}$ ··· die Werte von $\varphi$ und $V_m$ bezeichnen, die den verschiedenen Richtungen entsprechen.

Die Werte von $\varphi$ sind sehr verschieden für die verschiedenen Monate, somit wird auch $\sigma^2_{Sm)}$ verschiedene Werte erhalten; um von der Grösse einen Begriff zu erhalten, wollen wir für $\varphi_n$, $\varphi_{no}$ ···

*Tabelle 17.*

| Feuerschiff | $\varphi_n$ | $\varphi_{no}$ | $\varphi_o$ | $\varphi_{so}$ | $\varphi_s$ | $\varphi_{sw}$ | $\varphi_w$ | $\varphi_{nw}$ | $\alpha$ | $\beta$ | r |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Horns Rev . . . . . | 0,68 | 0,42 | 0,53 | 0,76 | 0,64 | 0,90 | 1,14 | 1,24 | 0,40 | 0,23 | 0,8 |
| Vyl . . . . . | 0,60 | 0,45 | 0,55 | 0,75 | 0,63 | 0,98 | 1,15 | 1,18 | 0,29 | 0,15 | 0,7 |
| Skagens Rev. . . . . | 0,41 | 0,63 | 0,71 | 0,65 | 0,75 | 0,93 | 1,47 | 0,55 | 2,25 | 1,10 | 1,8 |
| Læsø Rende. . . . . | 0,41 | 0,59 | 0,54 | 0,66 | 0,73 | 0,82 | 1,23 | 0,81 | 0,56 | 0.27 | 0,9 |
| Læsø Trindel . . . . . | 0,47 | 0,55 | 0,58 | 0,67 | 0,83 | 0,93 | 1,22 | 0.69 | 0,31 | 0,16 | 0,7 |
| Kobbergrunden . . . . . | 0,48 | 0,48 | 0,52 | 0,63 | 0,64 | 0,75 | 1,14 | 0,71 | 0,19 | 0,13 | 0,6 |
| Anholt Knob . . . . . | 0,53 | 0,46 | 0,60 | 0,87 | 0,73 | 0,95 | 1,22 | 0,90 | 0,72 | 0,50 | 1,1 |
| Schultz's Grund . . . . . | 0,44 | 0,45 | 0,61 | 0,80 | 0,61 | 1,02 | 1,25 | 0,90 | 1,14 | 0,46 | 1,3 |
| Lappegrunden . . . . . | 0,47 | 0,35 | 0,55 | 0,88 | 0,86 | 0,69 | 1,02 | 1,12 | 0,81 | 0,38 | 1,1 |
| Drogden . . . . . | 0,37 | 0,40 | 0,65 | 0,69 | 0,59 | 0,98 | 1,23 | 0,70 | 0,32 | 0,12 | 0,7 |

ihre mittleren Werte benutzen, die Tab. 17 angeführt sind, indem zur Bildung der Mittel die 144 Werte von $\varphi$ benutzt worden sind, die in der Periode 1897—1908 für jede Richtung vorkommen.

Im Gegensatz zu $\varphi$ schwankt $V_m$ nicht viel, und in der Formel von $\sigma^2_{(Sm)}$ setzen wir $V_m = 3$ für alle Richtungen, indem 3, nach den monatlichen, im Nautisk-meteorologisk Aarbog angeführten Werten zu urteilen, wahrscheinlich nicht weit vom mittleren Wert der Windstärke fällt.

In dieser Weise berechnet erhält $\sigma^2_{(Sm)}$ die Tab. 17 unter $\alpha$ aufgeführten Werte; $\sqrt{\alpha} = \sigma_{(Sm)}$ bezeichnet also den mittleren Fehler von $S_m$, der ausschliesslich von Beobachtungsfehlern bei der Schätzung der Windstärke herrührt.

Betrachten wir zugleich den mittleren Fehler von $S_m$, der dadurch eingeführt wird, dass die Grösse $\varphi$ durch die Ausgleichungsrechnung auf eine Dezimalstelle abgerundet worden ist.

Der mittlere Fehler von $\varphi$, der hiervon herrührt, ist $\frac{0{,}05}{\sqrt{3}}$, das Quadrat des mittleren Fehlers $0{,}01 \cdot \frac{1}{12}$.

Wird dies statt $\frac{1}{80} \cdot \frac{\varphi}{V_m + 3}$ in die Formel von $\sigma^2_{(Sm)}$ eingesetzt, erhält man das Quadrat des von der Abrundung herrührenden mittleren Fehlers; dies Quadrat ist Tab. 17 unter $\beta$ aufgeführt.

Unter r ist schliesslich die Grösse $\sqrt{\alpha + \beta}$ aufgeführt, die also den mittleren Fehler von $S_m$ darstellt, der sowohl von Beobachtungsfehlern der Windstärke als von der Abrundung von $\varphi$ herrührt.

Die im berechneten Wert des Stroms wegen der genannten Unsicherheiten vorkommenden Fehler sind also von geringerer Bedeutung im Verhältnis zu der Unsicherheit, die in den Monatsmitteln des beobachteten Stroms selbst enthalten ist.

Für Skagens Rev, wo $r = 1{,}8$ ist, würde diese Unsicherheit den mittleren Fehler der beobachteten Monatsmittel nur ein wenig über das erhöhen, was er betragen würde, wenn die Windbeobachtungen und die Berechnungen ganz korrekt wären. Die Unsicherheit der beobachteten Monatsmittel selbst und die Unsicherheit, die man erhält, wenn ausserdem die durch den Fehler der Windstärke und die Ungenauigkeiten der Berechnungen verursachte Unsicherheit hinzuaddiert wird, kann in den beiden Fällen bzw. durch 3 cm/sec und $\sqrt{3^2 + 1{,}8^2} = 3{,}5$ cm/sec dargestellt werden.

Betrachtet man die Tab. 16 Kolumne 3 angeführten mittleren Fehler, die aus der Seite 26 angeführten Formel gefunden worden sind, sieht man, dass sie so zu sagen alle grösser sind als dieser Wert 3,5 cm/sec; d. h. also, dass andere Umstände als die Beobachtungsfehler im Begriff »zufällig« einbegriffen sein müssen. Für Vyl und Kobbergrunden sind die kleinsten mittleren Fehler ungefähr, wie man sie nach den Beobachtungsfehlern erwarten sollte.

Der mittlere Fehler des Monatsmittels des Stroms, wenn dieser theoretisch als konstant vorausgesetzt wird

Daraus erhellt also, dass die benutzte Theorie vom Einfluss des Windes auf den Oberflächenstrom nicht alles berücksichtigt haben kann. Um den mittleren Fehler des Monatsmittels, der Tab. 16 Kolumne 3 aufgeführt ist, mit der Schwankung zu vergleichen, die überhaupt in den Monatsmitteln vorkommt, ist der mittlere Fehler berechnet worden, den man einem Monatsmittel des Stroms beilegen müsste, wenn man die Theorie aufstellte, dass die Monatsmittel einen konstanten Wert haben sollten; d. h. also, dass wir diese Mittel als Wiederholungen betrachten und den mittleren Fehler F nach der Formel

$$F = \sqrt{\frac{\Sigma (a - M)^2}{N - 1}},$$

berechnen, wo a das Monatsmittel, M das Mittel von N solchen Mitteln ($N = $ ca. 144) bezeichnet.

Dadurch erhalten wir die Tab. 16 Kolumne 4 aufgeführten Werte. Man sieht, dass eine gewisse Übereinstimmung zwischen dem hier berechneten mittleren Fehler und dem Kolumne 3 angeführten besteht; das Verhältnis zwischen ihnen ist Kolumne 5 aufgeführt; wie man sieht, schwankt dies Verhältnis viel weniger als der mittlere Fehler; die Schwankung ist aber keine zufällige; Horns Rev und Vyl nehmen eine Sonderstellung ein; bei den Feuerschiffen im Kattegat nimmt das Verhältnis ziemlich gleich-

mässig zu, je länger man südwärts kommt; doch ist das Verhältnis bei Schultz's Grund geringer als bei den Feuerschiffen von Anholt Knob, Kobbergrunden und Læsø Trindel, von denen namentlich das von Læsø Trindel einen hohen Wert dieses Verhältnisses aufweist.

Die Theorie vom Einfluss des Windes auf den Strom ist in gewissen Beziehungen unvollständig

In Verbindung hiermit sollen 3 Gründe angeführt werden, die u. a. dazu beitragen, dass die benutzte Theorie vom Einfluss des Windes den tatsächlichen Verhältnissen nicht ganz entspricht.

Wenn ein bestimmter Wind zu wehen anfängt und sich einige Zeit lang konstant hält, wird der entsprechende Stromzustand nicht augenblicklich eintreten; die Zeit, welche verstreicht, bevor die Stromverhältnisse den dem Winde entsprechenden Wert erlangt haben, ist an den verschiedenen Orten verschieden. Im Kattegat gehört sie wahrscheinlich nur zur Grössenordnung 24 Stunden; bei Gjedser Rev am Eingang der Ostsee ist längere Zeit erforderlich, bevor der konstante Zustand erreicht wird; vielleicht handelt es sich hier von einer Periode der Grössenordnung 14 mal 24 Stunden.

Da aber nicht zu erwarten ist, dass nach dem Aufhören eines bestimmten Windes grade die Vermehrung des Oberflächenstroms eintreten wird, die, als der Wind zu wehen anfing, am konstanten Zustand fehlte, so entsteht dadurch eine Divergenz zwischen der Theorie und den tatsächlichen Verhältnissen, die von der Dauer der Windperiode abhängig sein wird; wahrscheinlich beträgt ihr mittlerer Wert einen Bruchteil der tatsächlich vorkommenden Stromschwankungen, was damit stimmt, dass Q, Tab. 16, einen einigermassen konstanten Wert hat; ferner wird wahrscheinlich die Divergenz zwischen den gefundenen und den berechneten Verhältnissen grösser werden, je weiter wir in die engeren Gewässer hineinkommen, und schliesslich bei Gjedser Rev so gross werden, dass dadurch die Anwendung der Theorie in der hier benutzten Form unmöglich wird.

Bei Gjedser Rev ist die aufgestellte Theorie von der Wirkung des Windes auf den Strom unanwendbar

Aus Tab. 16 ist ersichtlich, dass Q bei Gjedser Rev 0,98 beträgt, d. h. dass man ebenso gut die einfache Theorie benutzen kann, dass der Strom bei Gjedser Rev einen konstanten Wert haben soll.

Der Unterschied a—b der aus dem Strom berechneten Monatsmittel und der durch Ausgleichung gefundenen ist für Gjedser Rev Tab. 18 aufgeführt, den Differenzen analog, die für die anderen Feuerschiffe in den Tabellen 5—14 aufgeführt sind.

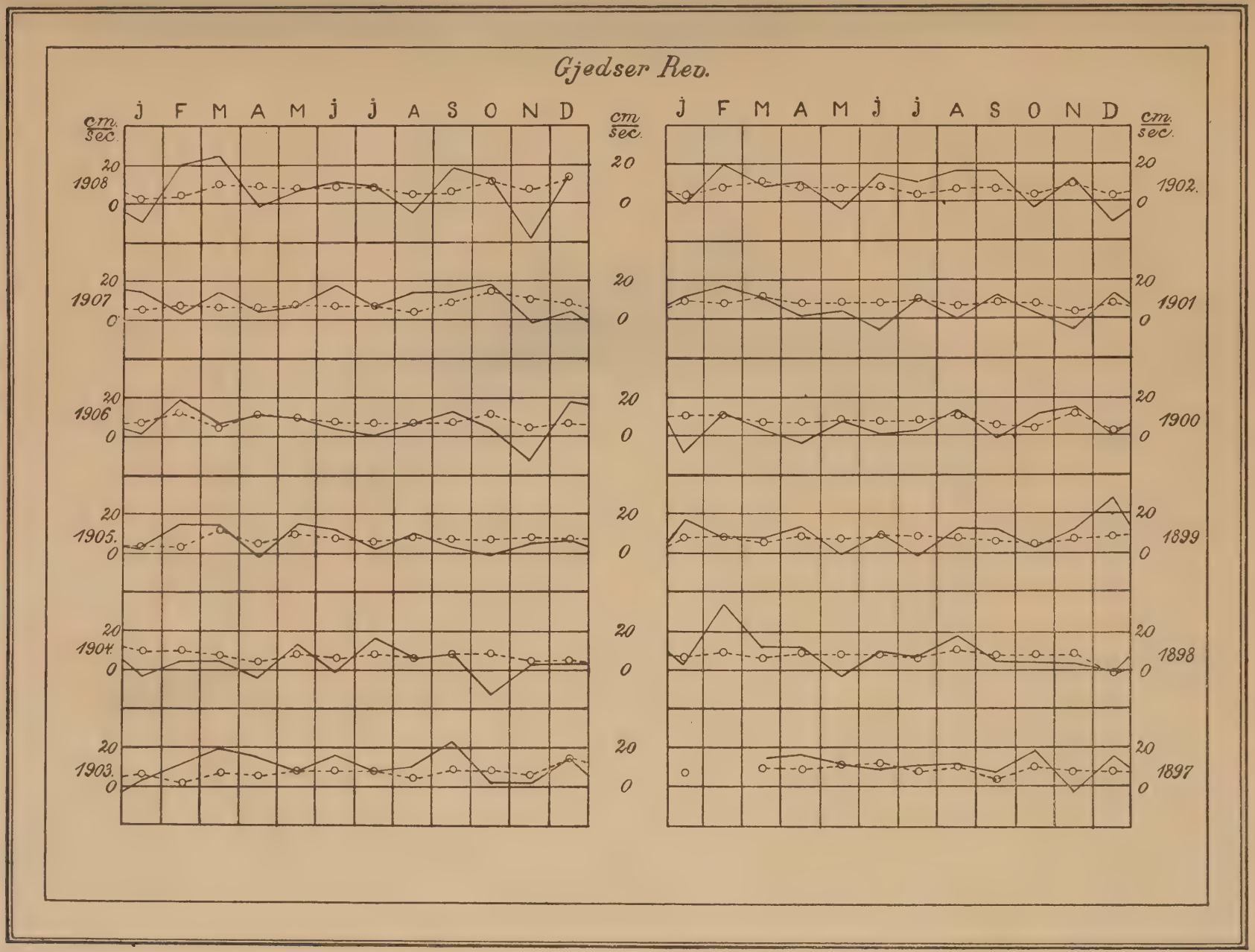
In graphischer Darstellung sind die mittleren Werte a und b Fig. 3 angegeben, den Tafeln III—VII für die anderen Feuerschiffe analog.

Die bei der Ausrechnung von b benutzte Formel für Gjedser Rev, den Bezeichnungen der Formeln in den Tabellen 5—14 analog, ist

$$s = 17{,}2 - 1{,}9\,N - 1{,}4\,NO - 1{,}9\,O - 1{,}1\,SO + 3{,}7\,S - 4{,}0\,SW - 1{,}5\,W - 2{,}2\,NW.$$

*Tabelle 18.* Differenz a—b für Gjedser Rev.

| | 1897 | 1898 | 1899 | 1900 | 1901 | 1902 | 1903 | 1904 | 1905 | 1906 | 1907 | 1908 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| J | 0 | — 4 | 10 | —18 | 2 | — 2 | — 3 | —13 | 1 | — 7 | 10 | —11 |
| F | | 25 | 1 | 1 | 8 | 11 | 10 | — 7 | 10 | 7 | — 5 | 15 |
| M | 5 | 5 | 2 | — 4 | — 2 | — 3 | 11 | — 4 | 2 | 1 | 8 | 15 |
| A | 5 | 4 | 4 | —10 | — 7 | 3 | 10 | — 8 | — 8 | 0 | — 3 | — 9 |
| M | — 1 | —11 | — 8 | — 1 | — 4 | —12 | 0 | 5 | 5 | — 1 | — 1 | — 1 |
| J | — 2 | 3 | 0 | — 7 | —15 | 7 | 8 | — 7 | 4 | — 4 | 11 | 1 |
| J | 3 | 2 | —11 | — 5 | 1 | 5 | 0 | 8 | — 4 | — 5 | 0 | 1 |
| A | 1 | 8 | 6 | 2 | — 7 | 9 | 6 | 0 | 2 | 0 | 11 | — 9 |
| S | 2 | — 3 | 7 | — 6 | 4 | 10 | 15 | 1 | — 5 | 5 | 6 | 12 |
| O | 9 | — 5 | — 2 | 7 | — 6 | — 9 | — 5 | —22 | — 8 | — 9 | 4 | 2 |
| N | —10 | 6 | 5 | 3 | — 8 | 3 | — 4 | — 4 | — 3 | —17 | —13 | —23 |
| D | 9 | 0 | 20 | — 2 | 4 | —14 | 1 | — 2 | — 1 | 12 | — 4 | 1 |




Monatsmittel der beobachteten Ströme

---o--o-- » aus dem Winde berechnet.

Fig. 3.

Ein anderer Umstand, der bewirkt, dass die benutzte Theorie nicht genügt, ist, dass es offenbar nicht angeht, den lokalen Wind an einem Orte als für den Strom daselbst alleinig massgebend zu betrachten; in der Praxis würde die angewandte Methode sicherlich ganz ungenügende Resultate ergeben, wenn man nicht in der Regel den lokalen Wind als den Vertreter der Windverhältnisse eines grösseren Gebietes betrachten könnte; da dies aber nur annäherungsweise angeht, muss sich dadurch eine Unsicherheit des berechneten Wertes des Stroms ergeben.

Eine dritte Ursache zur Unübereinstimmung zwischen den gefundenen und den berechneten Monatsmitteln haben wir an dem Einfluss, den die regelmässigen Perioden des Stroms auf die Grösse der Divergenzen ausüben. Dass es auch für die oberste Schicht solche Perioden gibt, ist unzweifelhaft; darauf werden wir später zurückkommen.

Die Wirkung des Windes auf den Strom, der Windstärke nach Beauforts Einheiten (0—12) proportional gesetzt

Obgleich kaum mit Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist, dass die Zugrundelegung einer anderen Formel bei der Ausgleichung eine bessere Übereinstimmung zwischen den beobachteten und den berechneten Werten des Stromes ergeben sollte, wird es doch von Interesse sein, zu sehen, welches Resultat man bekommt, wenn man einfach annimmt, dass der vom Winde erzeugte Strom der nach der Skala 0—12 gemessenen Windstärke proportional ist. Eine Ausgleichung ergab für Skagens Rev unter dieser Voraussetzung folgenden Ausdruck des Stroms

$$s' = 40{,}6 - 19{,}8\,N' + 8{,}9\,NO' + 16{,}1\,O' + 1{,}2\,SO' - 21{,}3\,S' - 17{,}7\,SW' - 22{,}6\,W' - 18{,}3\,NW',$$

welche Gleichung der Gleichung S. 17 ganz analog ist, nur dass N′, NO′ u. s. w. unter der Voraussetzung

$$\varphi = \frac{p}{100} \cdot V_m \text{ statt } \varphi = \frac{p}{100} \cdot (V_m + 3)$$

berechnet sind.

Wie man sieht, entsprechen die Vorzeichen und das gegenseitige Grössenverhältnis der Konstanten einigermassen den Konstanten von Skagens Rev Tab. 4; merkwürdig ist, dass das konstante Glied bedeutend kleiner ist, als bei der Ausgleichung nach der früher benutzten Formel.

Sucht man den mittleren Fehler des »beobachteten« Monatsmittels nach der Formel

$$\sigma_{(a)} = \sqrt{\frac{\Sigma\,(a - b')^2}{N - 9}},$$

analog der Formel S. 26, so erhält man für diese Ausgleichung 9,9, also ganz dieselbe Grösse wie bei der früheren Ausgleichung (Tab. 16).

Das hier für Skagens Rev gefundene gilt wahrscheinlich, jedenfalls annäherungsweise, auch für die übrigen Feuerschiffe; wenn es somit nur gilt, die Monatsmittel zu finden, die aus dem Winde berechnet werden können, wird man wahrscheinlich mit gleichem Vorteil die Geschwindigkeit des Stroms der Windstärke und deren Quadratwurzel proportional setzen können, wenn der Wind nach Beauforts Skala (0—12) ausgedrückt wird.

Der mittlere Fehler der durch die Ausgleichung gefundenen Konstanten der verschiedenen Windrichtungen

Tab. 4 enthält, wie erwähnt, die durch die Ausgleichung für die verschiedenen Windrichtungen gefundenen Konstanten, und man sieht leicht, dass im Grössen- und Vorzeichenverhältnis dieser Konstanten eine gewisse Gesetzmässigkeit obwaltet. Bevor wir die Bedeutung der Konstanten eingehender erörtern, wird es von Interesse sein, zu untersuchen, wie gross ihr mittlerer Fehler ist.

Die Tab. 19 angeführten mittleren Fehler der verschiedenen Konstanten sind auf Grund des mittleren Fehlers des Monatsmittels berechnet, der in Tab. 16 für jedes Feuerschiff angegeben ist; vorausgesetzt ist, dass der mittlere Fehler sämtlicher Mittel für dasselbe Feuerschiff derselbe ist. Tab. 19 enthält ausser dem mittleren Fehler das Verhältnis zwischen dem mittleren Fehler und der entsprechenden Konstante.

Dies Verhältnis ist in vielen Fällen grösser als 1; in solchen Fällen hat die Bestimmung der Konstante natürlich nur geringe Bedeutung; andererseits ist sie in vielen Fällen recht sicher.

*Tabelle 19.* Die mittleren Fehler der Konstanten, die in den Stromberechnungsformeln enthalten sind, sowie das Verhältnis zwischen diesen mittleren Fehlern und den Konstanten selbst.

| | $\sigma_c$ | $\frac{\sigma_c}{C}$ | $\sigma_n$ | $\frac{\sigma_n}{n}$ | $\sigma_{no}$ | $\frac{\sigma_{no}}{no}$ | $\sigma_o$ | $\frac{\sigma_o}{o}$ | $\sigma_{so}$ | $\frac{\sigma_{so}}{so}$ | $\sigma_s$ | $\frac{\sigma_s}{s}$ | $\sigma_{sw}$ | $\frac{\sigma_{sw}}{sw}$ | $\sigma_w$ | $\frac{\sigma_w}{w}$ | $\sigma_{nw}$ | $\frac{\sigma_{nw}}{nw}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Horns Rev . . . | 4,2 | 0,42 | 2,7 | 1,93 | 2,7 | 0,26 | 2,2 | 1,16 | 1,6 | 0,33 | 2,1 | 0,22 | 1,7 | 0,34 | 1,4 | 0,23 | 1,4 | 0,74 |
| Vyl . . . . . | 2,2 | 0,12 | 1,5 | 0,24 | 1,4 | 0,35 | 1,2 | 1,00 | 0,9 | 0,37 | 1,1 | 0,17 | 0,9 | 0,16 | 0,8 | 0,14 | 0,7 | 0,24 |
| Skagens Rev . . | 6,5 | 0,09 | 5,1 | 0,29 | 4,2 | 3,00 | 2,7 | 0,47 | 3,3 | 0,77 | 3,1 | 0,20 | 2,0 | 0,13 | 2,0 | 0,12 | 3,1 | 0,21 |
| Læsø Rende . . | 4,6 | 0,11 | 3,6 | 0,57 | 2,9 | 1,26 | 2,4 | 0,53 | 2,2 | 0,69 | 2,6 | 0,96 | 1,8 | 0,45 | 1,8 | 0,20 | 1,5 | 0,12 |
| Læsø Trindel . | 5,8 | 0,44 | 4,3 | 1,59 | 4,1 | 0,95 | 2,8 | 0,85 | 2,6 | 0,37 | 2,6 | 0,34 | 1,7 | 0,27 | 2,3 | 0,70 | 2,6 | 1,86 |
| Kobbergrunden | 2,8 | 0,22 | 2,0 | 0,57 | 2,1 | 0,48 | 1,4 | 0,29 | 1,5 | 0,20 | 1,6 | 0,25 | 1,1 | 0,44 | 1,3 | 1,09 | 1,1 | 1,10 |
| Anholt Knob . | 5,9 | 0,15 | 3,7 | 0,48 | 4,7 | 0,31 | 2,9 | 0,22 | 2,5 | 0,26 | 3,1 | 0,58 | 1,9 | 0,95 | 2,1 | 0,84 | 2,0 | 2,86 |
| Schultz's Grund | 6,8 | 0,15 | 5,1 | 1,19 | 5,3 | 6,62 | 3,4 | 2,12 | 3,0 | 1,43 | 3,5 | 0,43 | 2,3 | 0,19 | 2,4 | 0,18 | 2,5 | 0,20 |
| Lappegrunden . | 10,7 | 0,25 | 8,0 | 3,33 | 8,3 | 1,00 | 5,8 | 2,76 | 4,5 | 0,55 | 5,7 | 0,75 | 4,8 | 0,92 | 3,6 | 0,28 | 3,6 | 0,45 |
| Drogden . . . . | 6,7 | 0,36 | 5,0 | 1,28 | 5,2 | 4,33 | 3,4 | 4,86 | 3,6 | 1,00 | 4,3 | 5,38 | 2,3 | 0,59 | 2,5 | 0,25 | 3,0 | 5,00 |
| Gjedser Rev . . | 5,4 | 0,31 | 4,6 | 2,42 | 3,6 | 2,57 | 2,3 | 1,21 | 2,6 | 2,36 | 3,5 | 0,95 | 1,9 | 0,48 | 1,8 | 1,20 | 2,5 | 1,14 |
| Skagens Rev Der Strom der Windstärke proportional | 5,1 | 0,13 | 7,9 | 0,40 | 6,1 | 0,69 | 4,1 | 0,25 | 5,3 | 4,42 | 4,8 | 0,23 | 3,4 | 0,19 | 2,9 | 0,13 | 5,4 | 0,30 |

Am geringsten ist der mittlere Fehler der Konstanten für die westlichen Winde, und da diese Konstanten durchgehends die grössten sind, können wir folgern, dass die Wirkung der westlichen Winde am sichersten bestimmt ist.

Der mittlere Fehler des konstanten Gliedes C ist durchgehends klein im Verhältnis zu diesem Glied, was doch nicht verhindert hat, dass die beiden konstanten Glieder, die durch die beiden verschiedenen Ausgleichungen für Skagens Rev gefunden wurden, recht verschieden sind, nämlich 69,4 und 40,6 cm/sec, während ihr mittlerer Fehler bzw. 6,5 und 5,1 cm/sec beträgt; dies ergibt also eine Unübereinstimmung; man muss sich aber erinnern, dass nie einen ganzen Monat hindurch Windstille herrscht, so dass die berechneten Monatsmittel 69,4 und 40,6 als aus den normalen Werten des Windes und Stromes extrapolierte Werte zu betrachten sind.

Für Gjedser Rev ergab die angestellte Ausgleichung keine zuverlässige Bestimmung der Konstanten der Formel; dies ist aus den hier berechneten mittleren Fehlern ersichtlich, indem das Verhältnis zwischen den mittleren Fehlern und den entsprechenden Konstanten grösser ist als 1, mit Ausnahme des konstanten Gliedes und der südlichem und südwestlichem Winde entsprechenden Konstanten.

Graphische Übersicht über die durch die Ausgleichung gefundenen Konstanten und deren mittlere Fehler

Fig. 4 enthält eine graphische Übersicht über die Konstanten und deren mittlere Fehler. Die den Winden aus verschiedenen Richtungen entsprechenden Konstanten sind durch schwarze Punkte bezeichnet und nach dem links angebrachten Massstab abgesetzt. Der mittlere Fehler der Konstanten ist durch die Länge der senkrechten Striche durch die Punkte nach derselben Einheit wie die Konstanten bezeichnet.

In der Figur ist ausserdem die Geschwindigkeit angegeben, die der Strom nach der Formel haben würde, wenn kein Wind auf das Wasser wirkte.

Im folgenden werden die Einzelheiten eingehender erörtert, über welche die angestellten Untersuchungen für die dänischen Gewässer Aufschlüsse ergeben haben, insofern Feuerschiffsbeobachtungen über die verschiedenen Eigentümlichkeiten der Stromverhältnisse der Gewässer Aufschluss geben können.

Die Stromverhältnisse bei Horns Rev und Vyl bei Windstille

Da man annehmen darf, dass die Stromverhältnisse bei den Feuerschiffen von Horns Rev und Vyl infolge deren Lage anderen Verhältnissen unterworfen sind als die Stromverhältnisse bei den Feuerschiffen der inneren dänischen Gewässer, ist es naturgemäss, sie für sich zu behandeln.

Erstens ist ersichtlich, dass man nach den Formeln — Konstanten Tab. 4 — bei diesen beiden Feuerschiffen einen Strom von bzw. 10,0 cm/sec und 18,1 cm/sec in auswärtsgehender Richtung erwarten muss, d. h. bzw. nach SSO und SO missweisend, vorausgesetzt, dass kein Wind weht.

Wie aus Tab. 2 Seite 9 ersichtlich, liegen die aus- und einwärtsgehenden Ströme bei Horns Rev und Vyl in den diametral entgegengesetzten Richtungen, und ihre Differenz beträgt für die beiden Feuerschiffe bzw. — 19 cm/sec und — 8 cm/sec, indem man die Stromrichtungen bzw. nach SSO und SO für positiv rechnet; man sieht, dass der durch die Formeln ermittelte Strom für Horns Rev 29 cm/sec und für Vyl 26 cm/sec grösser ist als der tatsächliche mittlere Strom; der Einfluss des Windes auf den mittleren Wert des Stroms ist also im wesentlichen für beide Feuerschiffe derselbe.

Es mag wohl a priori unwahrscheinlich sein, dass sich bei den beiden Feuerschiffen ein resultierender Strom südlicher Richtung finden sollte, wenn die vom Winde erzeugten Ströme ausser Betracht gelassen werden; ähnliche Verhältnisse wie die durch die beiden Ausgleichungsrechnungen für Skagens Rev (S. 31) gefundenen könnten vielleicht auch als für die Berechnungen der Ströme bei Horns Rev und Vyl geltend angenommen werden, so dass man aus dem verhältnismässig geringen mittleren Fehler 4,2 und 2,2 cm/sec (Tab. 19) des konstanten Gliedes dennoch der Unvollkommenheit der Theorie wegen nichts sicheres über dessen absoluten Wert schliessen darf.

Verschiedene Umstände deuten jedoch an, dass das Wasser bei den beiden Feuerschiffen Horns Rev und Vyl eine südwärtsgehende Tendenz hat, wenn wir von der durch den Wind erzeugten Wirkung absehen.

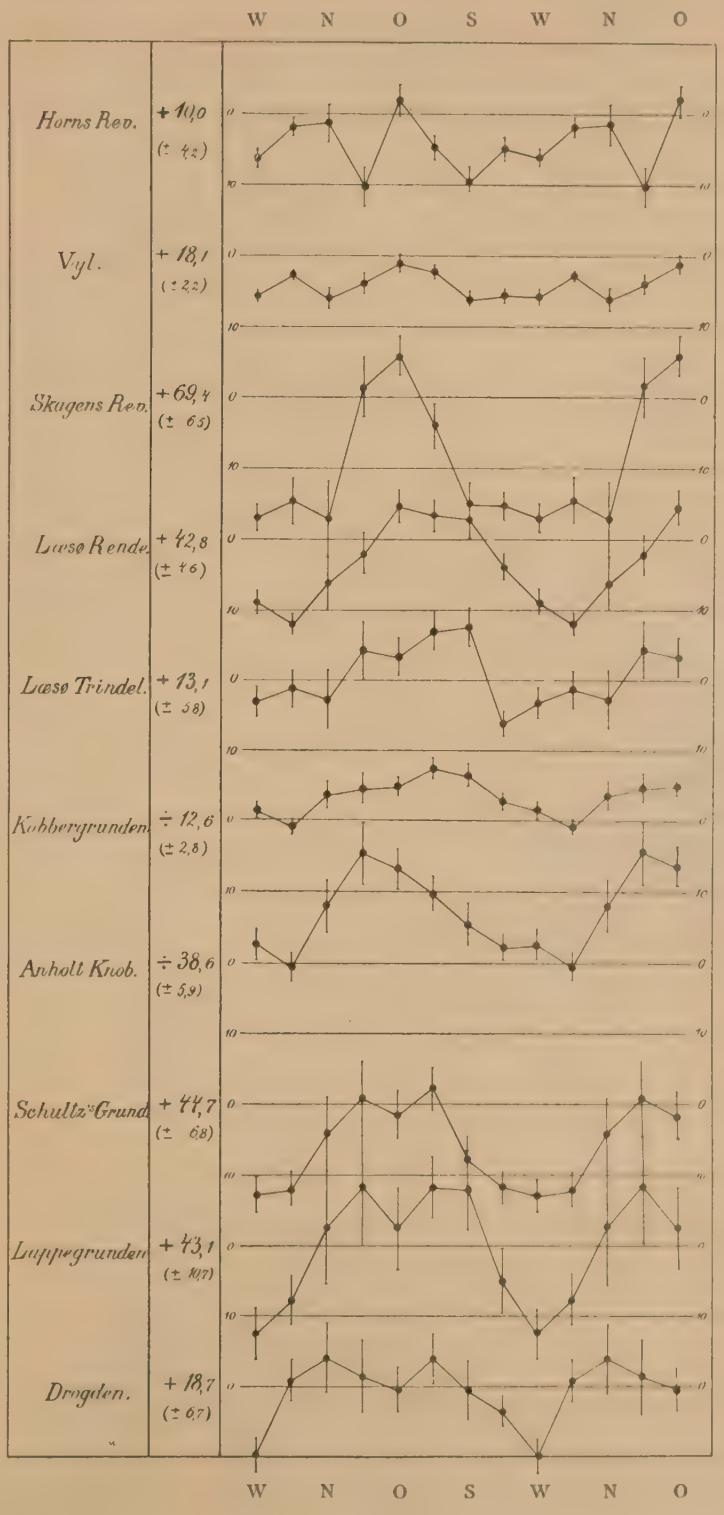

W N O S W N O
Horns Rev. + 10,0 (± 4,2)
Vyl. + 18,1 (± 2,2)
Skagens Rev. + 69,4 (± 6,5)
Læsø Rende + 42,8 (± 4,6)
Læsø Trindel. + 13,1 (± 5,8)
Kobbergrunden ÷ 12,6 (± 2,8)
Anholt Knob. ÷ 38,6 (± 5,9)
Schultz Grund + 44,7 (± 6,8)
Lappegrunden + 43,1 (± 10,7)
Drogden. + 18,7 (± 6,7)
W N O S W N O

Fig. 4. Graphische Darstellung der Konstanten in den Formeln der Abhängigkeit des Stroms vom Winde. Die Länge der senkrechten Linien durch die abgesetzten Punkte gibt den mittleren Fehler der Konstanten an. Die Zahlen links von der Kurve geben die konstanten Glieder der Formeln und deren mittlere Fehler an.

In diesem Zusammenhang soll untersucht werden, inwiefern die aus den Formeln für Windstille berechneten Werte des Stroms mit den Strömen übereinstimmen, die tatsächlich bei Windstille vorkommen.

Es wurden deshalb für die Perioden, in denen bei den beiden Feuerschiffen 1897—1908 Windstille oder nur schwache Winde herrschten, mittlere Zahlen der vorkommenden Ströme gebildet; zur Bildung dieser Mittel wurden 6 aufeinander folgende Beobachtungen angewendet, um dadurch den Gezeitenstrom zu eliminieren, indem die Beobachtungen alle 4 Stunden stattfanden.

Die stillen Perioden sind indessen bei den Feuerschiffen Horns Rev und Vyl selten, und um ein angemessenes Material zu erhalten, habe ich alle die Perioden von 24 Stunden benutzt, für die keine der Beobachtungen über 1 Beaufort (0—12) ausmachte.

Dieses Material wurde in 2 Gruppen geteilt: zur ersten wurden alle diejenigen mittleren Zahlen gerechnet, die aus Beobachtungen mit mindestens 4 mal Windstille und also höchstens 2 mal Stärke 1 hervorgegangen waren; zur zweiten Gruppe wurden alle übrigen mittleren Zahlen gerechnet, die also aus Beobachtungen mit höchstens 3 mal Windstille und mindestens 3 mal Windstärke 1 hervorgegangen waren.

Die Anzahl der dem ganzen Material von 1897—1908 entnommenen Beobachtungen sowie deren mittlere Zahlen sind aus folgender Zusammenstellung ersichtlich.

| | Horns Rev | | Vyl | |
|---|---|---|---|---|
| | Anzahl Tage | Mittl. Wert des Stroms cm/sec | Anzahl Tage | Mittl. Wert des Stroms cm/sec |
| Windstärke $\begin{Bmatrix}4\\5\\6\end{Bmatrix} \times 0 + \begin{Bmatrix}2\\1\\0\end{Bmatrix} \times 1$ . . . . . | 28 | — 4,8 | 22 | — 2,3 |
| Windstärke $\begin{Bmatrix}3\\4\\5\\6\end{Bmatrix} \times 1 + \begin{Bmatrix}3\\2\\1\\0\end{Bmatrix} \times 0$ . . . . . | 150 | — 10,6 | 67 | — 4,6 |
| Berechneter mittl. Wert der Windstärke 0 . . . . . | | 10,0 | | 18.1 |
| Mittl. Wert der tatsächlich vorkommenden Ströme . . | | — 19 | | — 8 |

Die in der Weise berechneten mittleren Zahlen sind zwar bedeutend kleiner an numerischem Wert als die mittleren Zahlen aller tatsächlich vorkommenden Ströme, werden aber doch nicht positiv, wie die aus den Formeln berechneten mittleren Werte.

Indessen gelten die hier gefundenen Mittel ja nicht für tatsächliche Windstille, und aus den beiden Gruppen geht hervor, dass mit der Windstärke eine starke Abnahme stattfindet. Wir dürfen also folgern, dass der mittlere Strom in Perioden mit Windstille bei den Feuerschiffen von Horns Rev und Vyl bedeutend weniger stark nordwärtsgehend ist als unter normalen Verhältnissen.

Da an diesen Orten westliche Winde am häufigsten vorkommen, und da diese im Verein mit der Ablenkung durch die Erdrotation sicherlich dem Oberflächenstrom eine nordwärtsgehende Richtung geben werden, könnte man obenstehendes Resultat als unmittelbare Folge davon betrachten; auffällig bleibt doch die starke Abnahme der Stromstärke, wenn die schwachen Winde von kleinerer Windstärke als 1 sich abnehmend noch mehr der Windstille nähern.

J. P. van der Stok[1]) untersuchte für eine 2jährige Periode (1898 und 1899) die Stromverhältnisse bei den holländischen Feuerschiffen und fand folgende Werte der Richtung und Geschwindigkeit des resultierenden Stroms:

| Feuerschiff | Stromrichtung »wohin« | Stromgeschwindigkeit cm/sec |
|---|---|---|
| Noord-Hinder | N 20 O | 2,24 |
| Schouwenbank | N 33 O | 4,92 |
| Maas | N 11 O | 6,20 |
| Haaks | N 2 O | 7,00 |
| Terschellingerbank | N 54 O | 5,84 |

In betreff dieser Ströme sagt van der Stok[2]): »La direction du déplacement de l'eau près de Haaks et l'amoindrissement de la vitesse moyenne près de Terschellingerbank sont autant d'indications qu'à cette station le courant ne saurait être regardé comme une continuation directe du courant près de Haaks, mais que quelque part entre Haaks et Terschellingerbank le courant se recourbe, au moins partiellement, à gauche, de sorte que dans la partie méridionale de la Mer du Nord il s'établit une circulation permanente, aussi bien que dans la partie boréale«.

Wenn der Strom bei der Terschellinger Bank auch eine Richtung nach N 54 O hat, so streitet dies nicht dagegen, dass sich bei Horns Rev und Vyl ein südwärtsgehender mittlerer Strom findet, wenn von der Wirkung des Windes abgesehen wird; dagegen scheint die Annahme wahrscheinlich, dass der von van der Stok beschriebene Wirbel einen Kompensationsstrom in südlicher Richtung im südöstlichen Gebiet der Nordsee verursachen würde, falls die Wirkung des Windes diese Erscheinung nicht ganz verhehlte.

Ein anderer Umstand, der, wenn von der Wirkung des Windes abgesehen wird, eine südwärtsgehende Wasserbewegung bei Horns Rev und Vyl befürwortet, ist folgender:

Es ist bekannt, dass die Materialwanderung längs der Westküste von Jütland von Hanstholm nach Blaavandshuk von Norden nach Süden stattfindet, was namentlich daraus ersichtlich ist, dass die Föhrdemündungen von Nymindegab, Thorsminde og Thyborön südwärts wandern. Eine Beschreibung dieser Wanderung findet man in den Studien über Ringköbing Fjord von Distriktsarzt Rambusch[3]). An ihrer Tatsächlichkeit lässt sich nicht zweifeln, wenn man auch nicht schliessen darf, dass dadurch das Vorhandensein eines Küstenstroms südlicher Richtung bewiesen ist; der durch die auftretenden starken Stürme in bestimmter Weise orientierte Wellenschlag z. B. könnte vielleicht auch von Bedeutung sein. Rambusch führt an: »Det sydlige Stryg« — so wird der nach Norden gehende Strom genannt — scheint der am häufigsten vorkommende Strom zu sein, der nördliche spielt aber die grösste Rolle. Er kann eine Geschwindigkeit von 1 dän. Meile (4 Seemeilen) in der Stunde erreichen, und wird vom Gezeitenstrom nicht aufgehalten.

Nimmt man an, dass sich längs der Westküste von Jütland ein solcher südwärtsgehender Küstenstrom findet, so stimmt hiermit, dass das konstante Glied, das den Strom unabhängig vom lokalen Winde vertritt, einen grösseren Wert erhält bei Vyl als bei Horns Rev, indem letztere Lokalität weiter von der Küste entfernt ist als Vyl.

Die Stromverhältnisse bei Horns Rev und Vyl unter dem Einfluss des Windes

Gehen wir davon aus, dass der vom Winde unabhängige Strom die durch die Formeln gegebenen Werte hat, so ergibt sich für die beiden Feuerschiffe die Eigentümlichkeit, dass so zu sagen alle Winde Ströme nördlicher Richtung ergeben. Am schwächsten wirken bei Horns Rev nördliche, nordwestliche und östliche Winde; letztere ergeben einen geringen südwärtsgehenden Strom; bei Vyl hat man die schwächste Wirkung bei ungefähr denselben Windrichtungen, nämlich den nordwestlichen, östlichen und südöstlichen. Dass Winde aus den Richtungen SO, S, SW und W nord-

[1]) Koninklijk nederlandsch meteorologisch Instituut No. 90, Études des Phénomènes de marée II, 1905.
[2]) a. a. O. S. 59.
[3]) Studier over Ringkøbing Fjord, København 1900, Side 146.

wärtsgehenden Strom ergeben, ist allerdings nach der Art des Gewässers recht natürlich, aber es will schwieriger einleuchten, dass Winde aus N und NO auch nordwärtsgehenden Strom ergeben können; bei den nordöstlichen Winden sind die Ströme sogar besonders kräftig, und da diese Windrichtung ungefähr senkrecht auf die Stromrichtung bei Horns Rev und Vyl fällt, muss man annehmen, dass sie bewirkt, dass Wasser aus der Nordsee hinausgeführt wird, indem der durch den Wind hervorgerufene Triftstrom gegen NW gerichtet nach rechts biegt. Bei nordöstlichen Winden muss gleichzeitig eine Anstauung des Wassers an der englischen Küste stattfinden, namentlich in dem südlichen Teil der Nordsee, wo man annehmen kann, dass das Wasser der geringeren Tiefe wegen mehr direkte in der Richtung des Windes geführt wird; diese Anstauung wird dann die bekannte Bewegung südwärtsgehender Richtung längs der englischen Küste und nordwärtsgehender Richtung längs der Westküste von Jütland unterstützen.

Zur näheren Untersuchung dieser Frage wäre es jedoch wünschenswert, die Stromverhältnisse in der Nordsee und deren Abhängigkeit von den meteorologischen Verhältnissen m. m. genauer zu kennen.

Die Stromverhältnisse bei den Feuerschiffen im Kattegat bei Windstille

Der konstante Strom, den man haben sollte, wenn die Wirkung des Windes ausser Betracht gelassen wird, ergibt sich im Kattegat als sehr verschieden bei den verschiedenen Feuerschiffen. Bei Anholt Knob und Kobbergrunden ergab sich ein einwärts-, bei allen übrigen Feuerschiffen ein auswärtsgehender Strom.

Man sollte wohl zunächst bei allen Feuerschiffen einen auswärtsgehenden Strom vorzufinden erwarten, da man aber annehmen muss, dass sich bei Kobbergrunden und Anholt Knob wegen der Lage an der westlichen Seite der tiefen Rinne einigermassen gleichmässige Stromverhältnisse finden, und da es sich zeigt, dass der Strom an beiden Orten einwärts geht, befürwortet dies das tatsächliche Vorhandensein eines einwärtsgehenden Stroms bei diesen Schiffen; wie aus Tab. 19 ersichtlich, beträgt der mittlere Fehler des konstanten Gliedes bzw. 22 % und 15 %; man muss sich aber stets erinnern, dass diese Stromangaben bei Windstille auf einer Extrapolation beruhen, indem die zur Ausgleichung benutzten Zahlen für Vorkommen und Stärke von Winden aus verschiedenen Richtungen nie den Wert 0 erreichen. Nach der oben genannten Arbeit von Witting[1]), wo auch die Beobachtungen von Kobbergrunden benutzt worden sind, sollte indessen die hier benutzte Theorie auch bei kleinen Werten der Windstärke die den Beobachtungen gemässeste sein.

Stromwirbel über dem tiefen Teil des Kattegat zwischen Anholt und Læsø

Wenn wir also bei Anholt Knob und Kobbergrunden einwärtsgehenden Strom annehmen, so bildet er in Gemeinschaft mit dem Strom an der schwedischen Küste, der sicherlich auswärtsgeht, annehmbar über dem tiefen Teil des Kattegat zwischen Anholt—Læsø und der schwedischen Küste einen Wirbel.

Von den anderen Feuerschiffen, bei denen der vom Wind unabhängige Strom auswärtsgehend ist, weist Læsø Trindel den schwächsten (13,1 cm/sec), Skagens Rev den stärksten (69,4 cm/sec) auf; bei den übrigen Feuerschiffen im Kattegat Læsø Rende, Schultz's Grund und Lappegrunden ist der auswärtsgehende Strom fast gleich stark, ca. 43—45 cm/sec. Schliesslich wurde bei Drogden ein vom Wind unabhängiger Strom von 18,7 cm/sec auswärtsgehender Richtung angetroffen.

Diese vom Winde unabhängigen Ströme sind Taf. VIII—IX auf der mittleren Karte graphisch dargestellt.

Die vom Winde beeinflussten Stromverhältnisse bei den Feuerschiffen im Kattegat

Die Wirkung, die der Wind aus verschiedenen Richtungen auf den Strom ausübt, ist durch die Konstanten der Tab. 4 S. 14 und graphisch in Figur 4 S. 33 dargestellt.

Der Hauptsache nach kann man sagen, dass östliche Winde auswärts-, westliche Winde einwärtsgehenden Strom ergeben. Bei genauerem Nachsehen, sind jedoch verschiedene Einzelheiten zu bemerken.

So ist die Lage der Kurven im Verhältnis zur Nulllinie ausserordentlich verschieden. Bei Skagens Rev, Læsø Rende und Schultz's Grund sollten bei weitem die meisten Windrichtungen einwärtsgehende Ströme ergeben; nur die Windrichtungen in der Nähe von O oder SO sollten schwache auswärtsgehende Ströme ergeben.

[1]) Ann. d. Hydrographie 1909, S. 201.

Man könnte ja annehmen, dass dies ein der Methode anhaftender Fehler wäre, und dass die Konstanten derart aus den Gleichungen gefunden wären, dass das konstante Glied etwas zu gross geraten ist, während gleichzeitig die Konstanten der verschiedenen Windrichtungen etwas zu negativ geworden sind, so dass beides in Gemeinschaft bestens möglich nach der gewählten Theorie die Beobachtungen (monatliche Mittel) aus dem Gebiete wiedergibt, wo diese liegen. Dies ist möglich, und man könnte vielleicht die Bestätigung davon in dem Umstande finden, dass die meisten Windrichtungen bei Schultz's Grund einwärtsgehenden Strom ergeben sollten, während man bei Lappegrunden die vom Wind erzeugten Ströme ungefähr gleichmässig auf auswärtsgehend und einwärtsgehend verteilt findet.

Wenn man von den Feuerschiffen Anholt Knob und Kobbergrunden absieht, muss man jedoch bemerken, dass die einwärtsgehenden vom Winde erzeugten Ströme bei den westlichen Feuerschiffen am stärksten sind, während bei den östlichen Feuerschiffen, Lappegrunden und Læsø Trindel, auswärts- und einwärtsgehende vom Wind erzeugte Ströme gleich bedeutend sind; dies Verhältnis deutet auf die Richtigkeit der gefundenen Konstanten.

Bei Kobbergrunden und Anholt Knob, wo das konstante Glied einen einwärtsgehenden Strom angibt, sollen die verschiedenen Winde auswärtsgehende Ströme ergeben. Wenn sich in diesem Teil des Gewässers ein solcher Stromwirbel, wie oben erwähnt, findet, so ist eine solche Wirkung des Windes an und für sich schon verständlich, indem der Stromwirbel vom Winde gestört wird, so dass das ausströmende Wasser an diesen Feuerschiffen vorbeigeführt wird. Westliche und nordwestliche Winde sollten jedoch den Strom in keinem höheren Grad beeinflussen.

Wenn man auch sagen kann, dass östliche Winde hauptsächlich auswärtsgehende Ströme, westliche Winde einwärtsgehende Ströme ergeben, fällt das Maximum dieser Ströme doch nicht grade auf dieselbe Windrichtung.

Nach den Kurven der Fig. 4 lässt sich folgende Tabelle aufstellen:

| | Maximum des auswärtsgehenden Stroms | Maximum des einwärtsgehenden Stroms |
|---|---|---|
| Skagens Rev ..... | O | W |
| Læsø Rende..... | SO [1]) | NW |
| Læsø Trindel ..... | S | SW |
| Kobbergrunden ..... | SO | NW |
| Anholt Knob ..... | NO | NW |
| Schultz's Grund ..... | O [1]) | W |
| Lappegrunden ..... | O [1]) | W |
| Drogden ..... ... | O [1]) | W |

Eine Erklärung dieser Verschiebungen der Windrichtung, welche für auswärts- oder einwärtsgehenden Strom Maximum ergibt, ist auf Grund des vorliegenden Materiâls kaum möglich.

Die besondere Form der Kurve bei Læsø Trindel mit den zwei Maximis so dicht aneinander mag wohl an den lokalen Verhältnissen liegen.

In »Den danske Lods«[2]) wird angegeben, dass der nordwärtsgehende Strom längs der Ostseite von Læsø südwärtsgehenden Neerstrom erzeugt. Möglicherweise kann dieser Neerstrom durch den Wind vom Süden geschwächt werden, und dadurch der auswärtsgehende Strom für dieselben Windrichtungen bei Trindelen verhältnismässig stark werden.

Bei Anholt Knob sieht man, dass nordöstliche Winde Maximum vom auswärtsgehenden Strom ergeben; dies lässt sich vielleicht daraus erklären, dass die nordöstlichen Winde, die einigermassen senkrecht auf die schwedische Küste wehen, den auswärtsgehenden Strom, den ich

[1]) Die Kurven wurden einer graphischen Ausgleichung unterzogen.

[2]) Den danske Lods Seite 146, Udg. 1910.

daselbst vorausgesetzt habe, gegen den westlichen Teil der tiefen Rinne hinüberdrängen, so dass die cyklonische Wasserbewegung, die annehmbar bei ruhiger Witterung stattfindet, gestört wird und wir bei Anholt Knob besonders starken auswärtsgehenden Strom erhalten.

Bei Schultz's Grund ist der auswärtsgehende Strom bei östlichen Winden etwas schwächer als bei nordöstlichen und südöstlichen Winden; dies liesse sich ganz natürlich daraus erklären, dass nach Westen gehende Ströme bei Schultz's Grund als einwärtsgehend betrachtet werden, und dass daher östliche Winde einwärtsgehende Ströme erzeugen könnten, die in den benutzten mittleren Zahlen den resultierenden auswärtsgehenden Strom vermindert hätten. Die Kurven von Lappegrunden und Drogden zeigen indessen dasselbe Verhältnis, und hier kann diese Erklärung nicht angewandt werden, so dass es zweifelhaft sein dürfte, ob die Erklärung in betreff von Schultz's Grund richtig ist.

Übrigens ist aus Fig. 4 ersichtlich, dass der Unterschied der Konstanten bei den östlichen und südöstlichen Winden ungefähr dieselbe Grösse hat wie ihr mittlerer Fehler. Derartige Details erforden genauere Untersuchung, wenn man etwas entscheidendes davon sagen soll.

Übersichtskarten über die Abhängigkeit des Stroms vom Winde

Um eine bequeme Übersicht darüber zu erhalten, wie die Stärke des Stroms bei den verschiedenen Feuerschiffen in Gemässheit der Windstärke und -richtung schwankt, habe ich diesen Zusammenhang auf den Karten Taf. VIII und IX für die Windstärken 0, 3 und 6 (Skala 0—12) dargestellt; die Karte in der Mitte der Tafeln gilt für Windstille, die 8 sie umgebenden Karten für die Winde aus den 8 verschiedenen Hauptrichtungen nach den auf den Karten angegebenen Bezeichnungen.

Es wird angenommen, dass der Strom in der einen der für jedes Feuerschiff charakteristischen Hauptrichtungen läuft; seine Grösse ist durch eine ausgezogene Linie mit Pfeil angegeben; die andere Hauptrichtung ist punktiert. Tab. 20 enthält die Zahlenwerte, nach denen die Karten gezeichnet sind. Die Tabellen sind nach der S. 14 angegebenen Formel berechnet.

*Tabelle 20.* Aus den Formeln für die Windstärken 3 und 6 Beaufort für die verschiedenen Windrichtungen berechnete Ströme ($^{cm}/_{sec}$).

| Richtung des Windes missweisend | Stärke des Windes (0—12) | Horns Rev | Vyl | Skagens Rev | Læsø Rende | Læsø Trindel | Kobbergrunden | Anholt Knob | Schultz's Grund | Lappegrunden | Drogden |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stille | 0 | 10 | 18 | 69 | 43 | 13 | — 13 | — 39 | 45 | 43 | 19 |
| N | 3 | 2 | — 20 | — 34 | 5 | — 3 | 8 | 7 | 19 | 58 | 42 |
| NØ | 3 | — 52 | — 6 | 78 | 29 | 39 | 14 | 54 | 50 | 93 | 26 |
| Ø | 3 | 21 | 11 | 104 | 70 | 33 | 16 | 40 | 35 | 56 | 15 |
| SØ | 3 | — 19 | 4 | 44 | 62 | 55 | 32 | 18 | 57 | 92 | 40 |
| S | 3 | — 48 | — 20 | — 22 | 59 | 59 | 25 | — 7 | — 4 | 89 | 14 |
| SV | 3 | — 20 | — 17 | — 23 | 19 | — 25 | 2 | — 27 | — 27 | 12 | — 5 |
| V | 3 | — 27 | — 17 | — 33 | — 11 | — 7 | — 5 | — 24 | — 34 | — 34 | — 42 |
| NV | 3 | — 1 | 1 | — 18 | — 29 | 5 | — 19 | — 43 | — 29 | — 5 | 22 |
| N | 6 | — 3 | — 39 | — 86 | — 14 | — 11 | 19 | 31 | 6 | 65 | 54 |
| NØ | 6 | — 84 | — 18 | 82 | 22 | 52 | 27 | 100 | 52 | 118 | 30 |
| Ø | 6 | 27 | 7 | 122 | 83 | 43 | 31 | 79 | 30 | 62 | 12 |
| SØ | 6 | — 33 | — 4 | 31 | 72 | 76 | 54 | 47 | 64 | 117 | 51 |
| S | 6 | — 77 | — 39 | — 68 | 67 | 82 | 44 | 9 | — 28 | 112 | 12 |
| SV | 6 | — 35 | — 34 | — 69 | 7 | — 44 | 10 | — 21 | — 62 | — 4 | — 16 |
| V | 6 | — 46 | — 34 | — 85 | — 38 | — 17 | — 2 | — 16 | — 73 | — 72 | — 72 |
| NV | 6 | — 7 | — 8 | — 62 | — 65 | 1 | — 22 | — 45 | — 66 | — 29 | 24 |

Zum näheren Verständnis der Karten Taf. VIII und IX wird bemerkt: zwar sind alle Konstanten der Augleichungsformeln von Monatsmitteln aus berechnet, aber, wie aus der Entwickelung der Formel S. 14 erhellt, wird man für andere Perioden ganz dieselben Konstanten erhalten, wobei jedoch vorausgesetzt wird, dass die Theorie übrigens mit derselben Annäherung für diese Perioden wie für die Monate zutrifft; namentlich muss hervorgehoben werden, dass die Perioden nicht so kurz sein dürfen, dass die

Phasenverschiebung des Stroms in betreff der Zeit storend wirkt. Die Karten sind daher so zu verstehen, dass man, wenn ein Wind zu einer gewissen Zeit weht, die ganze Zeit die diesem Winde entsprechende Stromstärke haben wird.

Wendet man die aus den Karten Taf. VIII und IX und der Tab. 20 hergestellte Relation zwischen Wind und Strom an, wird man dadurch wahrscheinlich dem tatsächlichen Verhältnis so nahe kommen, wie die Übereinstimmung zwischen den beobachteten und den berechneten Monatsmitteln Tabb. 5—14 und Taff. III—VII zeigt, jedoch unter der Voraussetzung, dass die Periode, die man wählt, eine angemessene Länge hat, d. h. von der Grössenordnung 1 Monat ist, und dass die Windverhältnisse in dieser Periode keinen abnormen Charakter hatten mit Windstille oder ausserordentlich starken Winden längere Zeit hindurch; es wird dann keine Rolle spielen, ob die Theorie vom Zusammenhang zwischen Wind und Strom, nach der die Karten gezeichnet worden sind, richtig ist oder nur annäherungsweise zutrifft; die verwendete Formel ist eine Interpolationsformel, die innerhalb des betrachteten Gebietes hinreichend genau ist.

Benutzung der gefundenen Relationen zwischen Wind und Strom für kürzere Perioden als einen Monat

Es möchte von Interesse sein, zu sehen, wie es sich mit der Übereinstimmung zwischen beobachteter und berechneter Stromstärke verhält, wenn man die Perioden nur einmal 24 Stunden langs ein lässt.

Eine solche Untersuchung ist in betreff der Strombeobachtungen von Skagens Rev, Anholt Knob und Schultz's Grund Feuerschiffen aus den Jahren 1905, 1906 und 1907 angestellt worden.

Hierzu wurden die im Nautisk-meteorologisk Aarbog für jede 4. Stunde des Tages angeführten Strom- und Windbeobachtungen benutzt.

Die 6 täglich angestellten Strombeobachtungen wurden in ähnlicher Weise behandelt wie die Strombeobachtungen bei der Berechnung der monatlichen Mittel (vgl. S. 9); durch geometrische Addition der einwärtsgehenden Ströme für sich und der auswärtsgehenden Ströme für sich wurden zwei Resultanten gefunden, die arithmetisch voneinander subtrahiert wurden, worauf die Differenz durch 6 dividiert wurde.

Natürlicherweise werden die in der Weise gefundenen Resultanten eines einzelnen Tages mehr schwanken als die Richtungen der für einen ganzen Monat berechneten Resultanten, aber die Abweichungen von den Hauptrichtungen sind doch selten so gross, dass die Projektion der Resultanten auf die Hauptrichtungen wesentlich kleiner wird als die Resultanten selbst.

Der aus dem Wind berechnete mittlere Strom eines Tages wurde in ähnlicher Weise gefunden wie der mittlere Strom eines Monats nach der Formel S. 14 mit den Tab. 4 angeführten Konstanten.

Auf den Taff. X—XII sind für die 3 genannten Feuerschiffe sowohl die beobachteten als die berechneten Werte eines jeden Tages 1905—1907 abgesetzt. Links auf jeder Tafel ist der Massstab in cm/sec angegeben; die Punkte des beobachteten Stroms sind mit ausgezogenen Linien verbunden; die des berechneten Stroms mit punktierten Linien.

Man sieht, dass bei allen 3 Feuerschiffen eine gewisse Übereinstimmung zwischen den beobachteten und den berechneten Werten besteht, wenn dieselbe auch nicht so gut ist wie die der beobachteten und berechneten Monatsmittel.

Es geht aus den Kurven des beobachteten und berechneten Stroms hervor, dass es, wenn auch eine Phasenverschiebung von 1 oder 2 Tagen vorliegt, was in einigen Fällen unzweifelhaft der Fall ist, andererseits bei weitem nicht immer dargetan werden kann, und man darf somit behaupten, dass die Oberflächenströme im Kattegat im wesentlichen durch den Wind + einen konstanten Strom bestimmt sind, und dass sie gewöhnlich schnell der Variation des Windes folgen, mitunter jedoch 1 oder 2 Tage verzögert.

Mittlerer Fehler der berechneten Stromstärke eines Tages

Um die Übereinstimmung, die zwischen den beobachteten und den berechneten Mitteln der einzelnen Tage besteht, mit der Übereinstimmung vergleichen zu können, die zwischen den beobachteten und den berechneten Mitteln eines Monats besteht, wurde für die mittleren Zahlen der einzelnen Tage der mittlere Fehler der beobachteten Werte berechnet, den Tab. 16 angeführten mittleren Fehlern der

*Tabelle 22.*

| | Januar | | | Februar | | | März | | | April | | | Mai | | | Juni | | | Juli | | | August | | | September | | | Oktober | | | November | | | Dezember | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| 1 | 23 | — 7 | 5 | —84 | —66 | —73 | —104 | —86 | —102 | 63 | 2 | 13 | — 26 | —47 | —50 | — 22 | 14 | 24 | —112 | — 85 | —100 | 33 | 26 | 28 | —46 | —18 | — 9 | —16 | —19 | —12 | 97 | 102 | 107 | 28 | 31 | 31 |
| 2 | 55 | 6 | 8 | —65 | —68 | —77 | — 16 | —24 | — 22 | 59 | — 3 | 11 | 27 | 37 | 35 | — 50 | — 4 | 9 | — 25 | — 30 | — 26 | —15 | — 12 | — 3 | —30 | 45 | 28 | 54 | 14 | 10 | 120 | 83 | 105 | —35 | —22 | — 12 |
| 3 | 133 | 38 | 45 | 20 | 24 | 27 | 30 | —30 | — 22 | —43 | — 9 | 4 | 36 | 23 | 28 | — 20 | — 5 | 5 | — 4 | — 18 | — 9 | 18 | 20 | 21 | 19 | 28 | 24 | 22 | 36 | 36 | 88 | 89 | 81 | —80 | —67 | — 75 |
| 4 | 66 | —22 | — 29 | 38 | 78 | 75 | — 83 | —87 | —104 | —24 | —13 | — 5 | 67 | 16 | 14 | 58 | 19 | 20 | 20 | 4 | 19 | —18 | — 19 | — 11 | 18 | 7 | 13 | 22 | 22 | 21 | 102 | 110 | 119 | 45 | 43 | 48 |
| 5 | 58 | — 2 | — 3 | 38 | 42 | 38 | — 76 | —56 | — 60 | 58 | 17 | 17 | — 24 | 12 | 17 | 8 | 25 | 23 | 1 | 33 | 35 | —73 | — 88 | —101 | —67 | —43 | —44 | —30 | 3 | 8 | 99 | 33 | 42 | — 5 | —42 | — 53 |
| 6 | 7 | 38 | 38 | 15 | —35 | —25 | — 94 | —67 | — 76 | 92 | 27 | 31 | — 46 | 30 | 27 | 14 | 13 | 21 | 79 | 91 | 71 | —12 | 20 | 18 | —67 | —78 | —91 | —15 | —16 | —14 | 79 | 4 | 1 | 35 | 59 | 64 |
| 7 | 59 | 93 | 70 | —56 | —62 | —67 | — 91 | —70 | — 77 | 88 | 53 | 36 | 30 | 22 | 17 | — 25 | — 6 | 6 | 65 | 47 | 41 | 3 | 37 | 35 | —57 | —73 | —85 | —21 | 4 | 2 | 99 | 97 | 90 | —22 | —63 | — 71 |
| 8 | — 3 | 48 | 34 | 5 | —79 | —76 | — 54 | —77 | — 87 | 0 | — 6 | 6 | 23 | 71 | 45 | — 40 | 27 | 29 | — 32 | — 9 | 3 | —47 | — 35 | — 32 | —27 | —50 | —53 | 69 | 76 | 71 | 97 | 93 | 96 | —81 | —48 | — 42 |
| 9 | —13 | — 6 | 0 | —81 | —35 | —37 | — 47 | —84 | — 99 | 45 | 15 | 20 | 23 | 28 | 26 | — 28 | 0 | 12 | — 51 | — 23 | — 16 | — 7 | — 3 | 10 | —37 | —83 | —98 | 95 | 38 | 46 | 99 | 90 | 101 | —36 | —26 | — 25 |
| 10 | — 7 | — 4 | 5 | —61 | —47 | —53 | 9 | —40 | — 31 | 42 | 7 | 20 | 4 | —14 | — 9 | 6 | 4 | 16 | — 60 | — 21 | — 12 | 1 | 28 | 19 | 3 | —13 | — 4 | 53 | 40 | 38 | 110 | 0 | 13 | 16 | — 2 | 7 |
| 11 | —50 | —27 | — 23 | 50 | —68 | —89 | 27 | —52 | — 63 | 45 | 7 | 12 | —119 | —54 | —58 | 43 | 44 | 37 | — 54 | — 27 | — 20 | —62 | — 20 | — 8 | 15 | 31 | 29 | 55 | 33 | 33 | 15 | —74 | — 84 | 38 | 79 | 66 |
| 12 | —55 | —44 | — 45 | — 7 | —19 | —25 | — 29 | —60 | — 62 | 49 | 32 | 29 | — 26 | 35 | 31 | 93 | 14 | 20 | 38 | 37 | 33 | —59 | — 36 | — 33 | 27 | 45 | 34 | 20 | —46 | —53 | —29 | —29 | — 26 | 22 | 56 | 48 |
| 13 | —50 | —20 | — 14 | 10 | —11 | — 8 | — 68 | —48 | — 42 | — 1 | 15 | 20 | 58 | 70 | 48 | — 5 | — 2 | 5 | 65 | 34 | 33 | 8 | 10 | 14 | —19 | 75 | 58 | —23 | 14 | 12 | 21 | 11 | 12 | 40 | 81 | 81 |
| 14 | —34 | —33 | — 32 | 28 | 35 | 31 | — 69 | —29 | — 31 | —45 | —18 | —12 | 63 | 56 | 42 | 100 | 44 | 50 | — 47 | 1 | 15 | 57 | 26 | 32 | 34 | 63 | 57 | 15 | — 5 | 0 | — 7 | — 2 | 11 | 27 | 64 | 60 |
| 15 | —51 | —41 | — 38 | 26 | 34 | 30 | 27 | —35 | — 40 | —79 | —59 | —68 | 70 | 75 | 54 | 92 | 71 | 62 | — 2 | — 30 | — 25 | 4 | — 12 | — 12 | —17 | — 6 | — 9 | —57 | —61 | —64 | — 9 | —32 | — 31 | — 3 | 23 | 26 |
| 16 | —42 | —63 | — 68 | 42 | —68 | —89 | — 84 | —61 | — 67 | —92 | —56 | —59 | 37 | 9 | 12 | 86 | 90 | 75 | —114 | — 79 | — 92 | — 4 | 9 | 14 | — 6 | 87 | 92 | —10 | —34 | —28 | 3 | —26 | — 24 | — 5 | 95 | 69 |
| 17 | —69 | —75 | — 83 | — 9 | —32 | —34 | — 87 | —47 | — 49 | —16 | — 5 | 7 | 24 | 39 | 35 | 67 | 33 | 30 | — 74 | — 35 | — 33 | —11 | 27 | 23 | 52 | 102 | 95 | —44 | —31 | —24 | 2 | 46 | 48 | —19 | 22 | 21 |
| 18 | —49 | — 3 | 0 | —43 | — 7 | 4 | — 58 | —31 | — 46 | 112 | 87 | 78 | 126 | 79 | 71 | 79 | 7 | 21 | — 54 | — 30 | — 25 | 10 | 15 | 23 | 90 | 115 | 116 | —16 | 23 | 11 | 9 | 9 | 17 | —49 | —19 | — 16 |
| 19 | 85 | —38 | — 30 | 2 | 18 | 20 | 12 | 18 | 18 | 117 | 86 | 100 | 110 | 83 | 82 | 18 | 24 | 26 | — 21 | — 14 | — 9 | —23 | — 4 | 4 | 85 | 110 | 106 | 28 | 68 | 57 | 38 | 47 | 52 | —53 | —18 | — 8 |
| 20 | 18 | 58 | 39 | 46 | 70 | 63 | 23 | 50 | 46 | 76 | 13 | 24 | 92 | 85 | 91 | — 69 | —46 | —47 | — 75 | — 40 | — 35 | —49 | — 51 | — 53 | 88 | 98 | 90 | — 1 | —15 | — 5 | —21 | — 1 | 5 | —66 | —27 | — 16 |
| 21 | —11 | 41 | 40 | 10 | 43 | 39 | 54 | 71 | 65 | — 6 | —35 | —25 | 58 | 93 | 57 | —103 | —66 | —75 | — 86 | —101 | —123 | —44 | —102 | —124 | 94 | 71 | 63 | —20 | 12 | 17 | —27 | —26 | — 18 | —63 | —29 | — 21 |
| 22 | 30 | 53 | 49 | 30 | 24 | 23 | 30 | 52 | 40 | 39 | —21 | —13 | 42 | 49 | 41 | — 45 | —12 | — 6 | — 42 | — 57 | — 62 | — 3 | 3 | 3 | 106 | 96 | 91 | 8 | 64 | 53 | —49 | —35 | — 38 | — 5 | —27 | — 19 |
| 23 | —27 | — 6 | 7 | 59 | 93 | 85 | 34 | 45 | 34 | — 7 | 12 | 15 | 51 | 21 | 24 | 24 | 55 | 41 | 10 | — 2 | 10 | 13 | — 57 | — 62 | 112 | 86 | 76 | 46 | 61 | 68 | —56 | —43 | — 41 | 9 | —22 | — 17 |
| 24 | —41 | —50 | — 43 | 72 | 94 | 86 | 81 | 88 | 88 | 30 | 13 | 21 | 51 | 14 | 24 | 66 | 49 | 38 | — 3 | 17 | 24 | 6 | 9 | 8 | 112 | 59 | 52 | 23 | 35 | 47 | —63 | —53 | — 56 | 33 | —36 | — 38 |
| 25 | —62 | —90 | — 97 | 70 | 53 | 57 | 101 | 82 | 105 | 46 | 56 | 48 | 42 | 5 | 17 | 19 | — 7 | 4 | 1 | — 25 | — 20 | 23 | 56 | 58 | 40 | —13 | — 9 | 32 | 41 | 45 | —74 | —88 | —103 | —54 | —91 | —114 |
| 26 | —68 | —51 | — 53 | —10 | —29 | —21 | 86 | 48 | 59 | 49 | 73 | 56 | 11 | 10 | 15 | — 89 | —48 | —48 | 9 | 3 | 14 | 27 | 23 | 27 | 90 | 56 | 48 | 18 | 44 | 44 | —39 | —69 | — 78 | —45 | —71 | — 85 |
| 27 | —93 | —99 | —119 | —45 | —28 | —20 | 58 | —17 | — 10 | 49 | 50 | 44 | 26 | 30 | 37 | — 22 | —26 | —17 | 41 | 22 | 23 | 7 | 14 | 16 | —28 | —23 | —18 | 41 | — 6 | —12 | —38 | —38 | — 42 | —20 | 15 | 12 |
| 28 | —79 | —83 | — 98 | —43 | —25 | —17 | 58 | —39 | — 42 | 45 | —16 | —18 | — 67 | — 5 | 1 | — 53 | —37 | —34 | 60 | 80 | 56 | 2 | 7 | 17 | 5 | —58 | —64 | —12 | —58 | —75 | — 2 | — 5 | — 9 | 10 | 72 | 50 |
| 29 | —37 | —19 | — 14 | | | | 52 | —58 | — 50 | 5 | 5 | 9 | — 72 | —65 | —73 | — 25 | —14 | — 7 | 68 | 81 | 53 | —51 | — 40 | — 40 | —56 | 58 | 55 | — 3 | —45 | —53 | —59 | —87 | —104 | 6 | —13 | — 2 |
| 30 | —45 | — 1 | 2 | | | | 51 | — 1 | 7 | 19 | 68 | 52 | — 47 | — 5 | 2 | — 32 | —66 | —76 | 37 | 21 | 27 | —66 | — 59 | — 66 | — 7 | —22 | —17 | —45 | 11 | 17 | —15 | —36 | — 37 | 32 | 73 | 57 |
| 31 | 2 | 20 | 25 | | | | — 40 | —11 | — 4 | | | | — 19 | 14 | 24 | | | | 38 | 57 | 41 | — 4 | 0 | 13 | | | | 29 | 89 | 99 | | | | 56 | 93 | 77 |

I Tagesmittel 1906 bei Skagens Rev beobachtet.

II » » » » » berechnet nach der Formel $S_m = 69{,}4 - 17{,}3\,N + 1{,}4\,NO + 5{,}8\,O - 4{,}3\,SO - 15{,}3\,S - 15{,}4\,SW - 17{,}1\,W - 14{,}6\,NW$

III » » » » » » » » » » $S'_m = 40{,}6 - 19{,}8\,N' + 8{,}9\,NO' + 16{,}1\,O' + 1{,}2\,SO' - 21{,}3\,S' - 17{,}7\,SW' - 22{,}6\,W' - 18.3\,NW'$

wo N, NO ... den mittleren Tageswert der Windstärke + 3 Einheiten aus der betreffenden Richtung und

» N', NO' ... » » » » » allein » » » » bedeuten

monatlichen Mittel entsprechend. Die Rechnungen wurden für die beiden früher erwähnten Ausgleichungen von Skagens Rev durchgeführt; der mittlere Fehler der Beobachtungen jedes Jahres ist Tab. 21 angeführt.

*Tabelle 21.*

| Feuerschiff | | | Mittlerer Fehler i der Tagesmittel cm/sec | Mittlerer Fehler f der Monatsmittel, berechnet für 1897—1908 cm/sec | $\frac{i}{f}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | Skagens Rev | 1905 | 37 | | |
| | — | 1906 | 37 | 9,9 | 3,6 |
| | — | 1907 | 34 | | |
| Der Strom proportional der Windstärke | Skagens Rev | 1905 | 33 | | |
| | — | 1906 | 37 | 9,9 | 3,5 |
| | — | 1907 | 36 | | |
| | Anholt Knob | 1906 | 28 | 8,2 | 3,4 |
| | Schultz's Grund | 1906 | 33 | 9,3 | 3,5 |

Für Anholt Knob und Schultz's Grund ist der mittlere Fehler auf Grund der Beobachtungen von 1906 berechnet worden. Ferner enthält Tab. 21 die entsprechenden mittleren Fehler von Tab. 16 und S. 31, sowie das Verhältnis zwischen den mittleren Fehlern der Tagesmittel und Monatsmittel.

Man sieht, dass der mittlere Fehler der Tagesmittel bedeutend grösser ist als der der Monatsmittel. Das Verhältnis zwischen ihnen beträgt bei allen 3 Feuerschiffen 3,5; da die mittlere Zahl des Monats aus ca. 180 Beobachtungen hervorgegangen ist, während zur mittleren Zahl des Tages nur 6 Beobachtungen benutzt wurden, könnte man erwarten, dass das Verhältnis zwischen den beiden mittleren Fehlern $\sqrt{30} = 5{,}5$ wäre; dass es tatsächlich so viel kleiner geworden ist, beruht wahscheinlich darauf, dass der mittlere Fehler des Monatsmittels zu gross gefunden worden ist, indem ein gewisser periodischer Gang der Stromstärke im Laufe des Jahres oder im Laufe des halben Jahres die Abweichungen zwischen Beobachtung und Berechnung verhältnismässig grösser gemacht hat bei den Monatsmitteln als bei den mittleren Zahlen der einzelnen Tage.

Möglicherweise machen sich auch andere systematische Abweichungen von der Theorie geltend. Mit den jährlichen und halbjährlichen Perioden des Oberflächenstroms werden wir uns im folgenden Abschnitt beschäftigen.

Die Theorie von der Proportionalität der Stromstärke mit dem Winde in Beaufort auf die einzelnen Tage angewandt

Schliesslich sollen (Tab. 22) noch die beobachtelen Tagesmittel und die aus dem Winde nach den beiden verschiedenen Theorien berechneten Tagesmittel von Skagens Rev 1906 angeführt werden.

Wie auch die Berechnung der mittleren Fehler Tab. 21 zeigt, sind die beiden Theorien fast gleich gut.

# JÄHRLICHE UND HALBJÄHRLICHE PERIODEN DES OBERFLÄCHENSTROMS.

Durch die im vorigen Abschnitt angestellte Untersuchung über den Zusammenhang zwischen Wind und Oberflächenstrom ergab es sich, dass in den in Frage stehenden Meeresgebieten der Wind als wesentliche Ursache der in einem gegebenen Moment vorkommenden Oberflächenströme betrachtet werden darf.

Es zeigte sich ferner, dass der einem bestimmten Wind entsprechende Oberflächenstrom verhältnismässig schnell nach dem Entstehen des Windes eintrat, indem höchstens von einer Verzögerung von 1 oder 2 Tagen die Rede war.

Wir werden nun untersuchen, ob sich in den Differenzen, die wir zwischen den beobachteten und berechneten Monatsmitteln feststellten, und die in den Tabb. 5—15 angeführt sind, eine solche regelmässige Schwankung findet, dass andere Ursachen des Stroms als eben der Wind nachgewiesen werden können.

Ausscheidung von halb- und ganzjährlichen Perioden des Materials der Oberflächen messungen

Um zu sehen, ob sich in den Differenzen eine jährliche und eine halbjährliche Periode findet, und um derartige Perioden zu bestimmen, wurden aus den Differenzen von Januar, Februar u. s. w. mehrerer Jahre mittlere Zahlen gebildet, indem das ganze Material in zwei Gruppen I und II geteilt wurde; die Gruppe I umfasste die Jahre 1897—1902, die Gruppe II die Jahre 1903—1908. Die daraus entstandenen mittleren Zahlen wurden einer harmonischen Analyse unterzogen, wodurch die in den Tabb. 23 und 24 angeführten Konstanten gefunden wurden.

Die Tabellen enthalten gleichfalls die auf Grund sämtlicher Beobachtungen gefundenen harmonischen Konstanten.

Die mittleren Zahlen sämtlicher Beobachtungen und die dadurch gefundenen ausgeglichenen Kurven sind Taff. XIII und XIV graphisch dargestellt.

*Tabelle 23.*

Jährliche Periode des Oberflächenstroms bei dänischen Feuerschiffen.

Die in der Tabelle angeführten Werte der harmonischen Konstanten sind aus den Monatsmitteln der angeführten Perioden gefunden, nachdem der vom Winde verursachte Strom von den beobachteten Stromstärken der einzelnen Monatsmittel subtrahiert worden war.

Wenn S die Stärke des auswärtsgehenden Stroms in $^{cm}/_{sec}$, s den Maximalstrom, $\zeta$ die Anzahl von Monaten nach dem 1. Januar, wo letzterer eintritt, und t die in Monaten ausgedrückte Zeit darstellen, wird S ausgedrückt durch

$$S = s \cos (30\,t - 30\,\zeta).$$

| Feuerschiff | Amplitude s $^{cm}/_{sec}$ | | | Anzahl von Monaten $\zeta$ nach dem 1. Januar, wo das Maximum des auswärtsgehenden Stroms eintritt | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1897—1902 | 1903—1908 | 1897—1908 | 1897—1902 | 1903—1908 | 1897—1908 |
| Horns Rev | 0,5 | 2,0 | 1,1 | 0,9 | 10,3 | 10,7 |
| Vyl | 0,8 | 0,3 | 0,4 | 0,1 | 9,1 | 11,5 |
| Skagens Rev | 3,8 | 1,8 | 2,8 | 8,1 | 8,6 | **8,2** |
| Læsø Rende | 1,7 | 1,3 | 0,6 | 11,6 | 7,3 | 9,9 |
| Læsø Trindel | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 1,6 | 4,3 | 3,0 |
| Kobbergrunden | 0,6 | 1,1 | 0,7 | 10,1 | 0,7 | 11,7 |
| Anholt Knob | 2,4 | 4,1 | 3,2 | 1,4 | 0,5 | 0,8 |
| Schultz's Grund | 4,0 | 3,6 | 3,7 | 2,4 | 3,1 | 2,8 |
| Lappegrunden | 2,8 | 3,6 | 3,2 | 4,0 | 4,7 | 3,6 |
| Drogden | 1,0 | 1,4 | 0,2 | 0,8 | 6,9 | 7,0 |

*Tabelle 24.* Halbjährliche Periode des Oberflächenstroms bei dänischen Feuerschiffen.

Die in der Tabelle angeführten Werte der harmonischen Konstanten sind aus den Monatsmitteln der angeführten Perioden gefunden, nachdem der vom Winde verursachte Strom von den beobachteten Stromstärken der einzelnen Monatsmittel subtrahiert worden war.

Wenn S′ die Stärke des auswärtsgehenden Stroms in $^{cm}/_{sec}$, s′ den Maximalstrom, ζ′ die Anzahl von Monaten nach dem 1. Januar, wo letzterer eintritt, und t die in Monaten ausgedrückte Zeit darstellen, wird S′ ausgedrückt durch

$$S' = s' \cos (60\, t - 60\, \zeta').$$

| Feuerschiff | Amplitude s′ $^{cm}/_{sec}$ | | | Anzahl von Monaten ζ′ nach dem 1. Januar, wo das Maximum des auswärtsgehenden Stroms eintritt | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1897—1902 | 1903—1908 | 1897—1908 | 1897—1902 | 1903—1908 | 1897—1908 |
| Horns Rev | 0,9 | 1,7 | 1,3 | 5,0 | 5,5 | 5,3 |
| Vyl | 0,3 | 1,2 | 0,7 | 4 4 | 5,5 | 5,3 |
| Skagens Rev | 4,4 | 2,1 | 2,6 | 3,8 | 2,4 | 3,4 |
| Læsø Rende | 1,5 | 2,1 | 1,5 | 3,0 | 4,1 | 3,7 |
| Læsø Trindel | 1,2 | 3,2 | 1,7 | 3,8 | 2,3 | 2,6 |
| Kobbergrunden | 2,6 | 2,3 | 2,5 | 2,3 | 1.9 | 2,1 |
| Anholt Knob | 1,2 | 1,9 | 0,4 | 4,3 | 1,4 | 1,6 |
| Schultz's Grund | 3,2 | 2,5 | 2.3 | 0,6 | 1,5 | 1,0 |
| Lappegrunden | 0,2 | 8,0 | 5,5 | 3,5 | 1,0 | 1,0 |
| Drogden | 2,1 | 5,1 | 3,6 | 1,5 | 1,3 | 1,3 |

Wie aus den Tabellen hervorgeht, handelt es sich nicht um grosse Amplituden im Vergleich mit dem mittleren Fehler, den wir allein wegen der Beobachtungsfehler in den mittleren Zahlen vermuteten; er wurde oben (S. 28) auf 3,5 cm/sec veranschlagt. Man muss nun annehmen, dass bei Bildung von Monatsmitteln des Zeitraums 1897—1908 der mittlere Fehler des Monatsmittels 1 cm/sec betragen wird, und im Verhältnis dazu sind mehrere der gefundenen Perioden so ausgeprägt, dass an ihrer Existenz kaum gezweifelt werden kann.

Um den Zusammenhang zwischen diesen Perioden bei den verschiedenen Feuerschiffen näher zu untersuchen, wollen wir suchen, ins klare zu bringen, wie im Strom eine jährliche und eine halbjährliche Periode entstehen kann.

Ganz- und halbjährliche Periode des Oberflächenstroms mit der Ausströmung aus der Ostsee verglichen

In den Formeln, aus denen der Strom als Funktion des Windes gefunden wurde, ist ein konstantes vom Winde unabhängiges Glied aufgestellt, das die konstante Wasserbewegung vertreten soll, die in den meisten Fällen auswärtsgehend ist, und die man sich jedenfalls als teilweise dadurch entstanden vorstellt, dass Wasser aus der Ostsee durch die Belte und durch das Kattegat Ablauf findet, indem allerdings die ausströmenden Wassermassen nach und nach dadurch grössere Mächtigkeit annehmen, dass Wasser aus dem Kattegat und den Belten mit ausströmt[1]).

Es fragt sich also, inwiefern man berechtigt ist, die ausströmende Wassermenge, die vom Winde unabhängig ist, durch eine konstante Zahl auszudrücken.

Der Bottnische Meerbusen

Für den Bottnischen Meerbusen hat Witting[2]) für die Jahre 1904 und 1905 die unten angeführten monatlichen Werte der Süsswasserzufuhr und der aus dem Wasserstand berechneten Veränderung der Wassermenge gefunden, die von Monat zu Monat stattfindet, in $km^3$ ausgedrückt.

| 1904: | Jan. | Febr. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Septbr. | Oktbr. | Novbr. | Dezbr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wasserzufuhr | 6,6 | 4,6 | 4,3 | 19,6 | 46,4 | 34,1 | 20,8 | 22,7 | 14,1 | 13,2 | 7,0 | 8,4 |
| Vermehrung der Wassermenge | — 18,6 | — 12,0 | 15,2 | 10,9 | 1,1 | 17,1 | 0,1 | — 20,1 | 4,3 | 14,3 | 13,1 | — 3,4 |
| 1905: | | | | | | | | | | | | |
| Wasserzufuhr | 7,7 | 5,6 | 6,9 | 18,0 | 51,4 | 26,4 | 20,1 | 25,0 | 21,1 | 16,5 | 13,1 | 10.1 |
| Vermehrung der Wassermenge | 7,0 | — 8,3 | 2,0 | 7,0 | — 7,4 | 22,8 | 6,9 | 1,3 | — 7,3 | — 16,4 | 31,4 | |

[1]) Diese Vermehrung der Mächtigkeit der ausströmenden Wassermassen ist nachgewiesen worden von Martin Knudsen, der deren quantitative Grösse an verschiedenen Stellen in den inneren dänischen Gewässern gefunden hat. Beretning fra Komm. f. vidensk. Undersøg. af danske Farvande 2 Bd. 2. H. 1899.

[2]) Finländische Hydrographisch-biologische Untersuchungen Nr. 2, S. 217, Helsingfors 1908.

Lässt man die mittleren Werte von je zwei der Zahlen der »Vermehrung der Wassermenge« für die Monate gelten, erhält man folgende Zahlen, die den Unterschied zwischen Süsswasserzufuhr und den Vermehrungen der Wassermenge bezeichnen, die monatlich in den beiden Jahren stattgefunden haben.

| | Jan. | Febr. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Septbr. | Oktbr. | Novbr. | Dezbr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1904 . . . . . | — | 19,9 | 2,7 | 6,6 | 40,4 | 25,0 | 12,2 | 32,7 | 22,0 | 3,9 | — 6,7 | 3,6 |
| 1905 . . . . . | 5,9 | 6,2 | 10,0 | 13,5 | 51,6 | 18,7 | 5,3 | 20,9 | 24,1 | 28,3 | 5,6 | — |

Wenn diese Zahlen auch nur einen Annäherungsausdruck für die Ausströmung geben und diese durch verschiedene Ursachen hervorgebracht ist, weisen sie doch eine so charakteristische Steigerung im Mai auf, dass diese sicherlich im wesentlichen von der Süsswasserzufuhr im Frühjahr herrühren muss, und betrachten wir die Wassermenge, die dem Bottnischen Meerbusen in jedem Monat zugeführt worden ist, erhalten wir ungefähr dasselbe Bild der Variation in den Frühjahrsmonaten.

Man muss deshalb annehmen, dass die Anhäufung von Wasser, die in den Frühjahrsmonaten im Bottnischen Meerbusen stattfindet, nur gering ist im Vehältnis zu den Wassermassen, die zugeführt und abgegeben werden. Die Ausströmung im Mai lässt sich auf rund 1 $km^3$ per Tag mehr als im April ansetzen.

Der südliche Teil der Ostsee

Für den südlichen Teil der Ostsee liegen meines Wissens keine Berechnungen über die Grösse der zugeführten Süsswassermenge vor. Um von dieser Frage einen Begriff zu bekommen, wollen wir annehmen, dass der Flächeninhalt der südlichen Ostsee und der Landstrecken, aus denen ihr Wasser zugeführt wird, ca. $2^1/_2$ mal so gross ist wie der Bottnische Meerbusen und die Landstrecken, aus denen ihr Wasser zugeführt wird.

Nach einer von Supan ausgearbeiteten Karte[1]) über den Niederschlag im Laufe des Jahres ist dieser etwas grösser im Gebiete über der südlichen Ostsee als um den Bottnischen Meerbusen. Die Verdampfung, die bei den Zahlen des Bottnischen Meerbusens abgezogen ist, ist allerdings etwas grösser in den südlicheren Gebieten, hat aber in den in Frage stehenden Monaten keinen wesentlichen Einfluss.

Setzen wir in den beiden Gebieten das Verhältnis zwischen der Summe der Niederschlagsmengen der letzten Wintermonate, in denen der Niederschlag als Eis und Schnee gebunden wird, und der Niederschlagsmenge der Frühjahrsmonate zu 3/2 an, so muss die Zufuhr von Süsswasser zur südlichen Ostsee ca. 4 mal so gross sein wie die zum Bottnischen Meerbusen.

Zufuhr von Süsswasser zur südlichen Ostsee durch Flüsse

Um einen Begriff von dem Zeitpunkt zu geben, wo die Zufuhr am grössten ist, sind in Tab. 25 einige mittlere Zahlen von Wasserstandmessungen an deutschen Flüssen zusammengestellt.

Man sieht, dass das Maximum des Wasserstandes an den in Tab. 25 angeführten Orten der Flüsse in die Monate März—April fällt, also etwas früher als das Maximum der Wasserzufuhr zum Bottnischen Meerbusen.

*Tabelle 25.* Der monatliche mittlere Wasserstand an den angeführten Orten auf Grund täglicher Beobachtungen aus den Jahren 1896—1905.

Diese Angaben stammen aus dem Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands, herausgegeben von der Preussischen Landesanstalt für Gewässerkunde, Abflussjahr 1906. Allgemeiner Teil. Berlin 1910.

| Fluss | Beobachtungsort | Entfernung des Beobachtungsorts von der Flussmündung km. | Mittlerer Wert des Wasserstandes cm | Januar | Februar | März | April | Mai | Juni | Juli | August | September | Oktober | November | Dezember |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Memel | Tilsit | 52 | 252 | +55 | +107 | +156 | +189 | 0 | —72 | —89 | —100 | —106 | —102 | —60 | +18 |
| Pregel | Tapiau | 47 | 204 | +21 | + 64 | + 79 | + 57 | 0 | —33 | —30 | — 37 | — 43 | — 49 | —32 | + 4 |
| Weichsel | Kürzebrack | 71 | 181 | —10 | + 37 | +105 | +132 | +42 | —27 | — 1 | — 49 | — 75 | — 69 | —54 | —34 |
| Oder | Hohensaathen | 87 | 324 | +40 | + 62 | + 74 | + 79 | +81 | —28 | —55 | — 58 | — 70 | — 67 | —58 | + 2 |

[1]) Hann.: Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1906, S. 264.

Die Wasserstandveränderungen im südlichen Teil der Ostsee sind kleiner als die des nördlichen Teils[1]). An der schwedischen Küste fällt der Wasserstand während der Periode Februar—April um 12,3 cm mittleren Wertes, während er im Laufe derselben Zeit an der deutschen Küste um 3,8 cm fällt. Die Wasserstandveränderungen im südlichen Teil der Ostsee

Ein Unterschied des Wasserstandes von $\frac{12{,}3 + 3{,}8}{2} = 8$ cm in der südlichen Ostsee entspricht ungefähr einer Wassermenge von 30 km³; diese Variation ergibt also, auf 2 Monate verteilt, eine durchschnittliche Verminderung der Wassermenge von 0,5 km³ pr. Tag.

Da als wahrscheinlich angenommen werden muss, dass die Vermehrung der Süsswasserzufuhr zur südlichen Ostsee sich über eine zweinal so lange Zeit erstreckt wie der Vermehrung der Zufuhr zum Bottnischen Meerbusen, und da wir ausserdem annahmen, dass die Süsswasserzufuhr zur südlichen Ostsee 4 mal so gross sei wie die zum Bottnischen Meerbusen, so können wir annehmen, dass der südlichen Ostsee in den Monaten März und April täglich ca. 2 km³ mehr Wasser zugeführt werden als in den vorhergehenden Monaten. Wegen der starken Zufuhr aus dem Bottnischen Meerbusen im Mai könnte man sodann annehmen, dass die grosse Zufuhr zur südlichen Ostsee sich auch auf diesen Monat erstreckt.

Die so rein überschläglich gefundene Süsswasserzufuhr zu der Ostsee ist gross im Verhältnis zu der gleichzeitig stattfindenden Veränderung der Wassermenge der Ostsee, und es ist daher anzunehmen, dass die verstärkte Ausströmung, welche durch die Süsswasserzufuhr verursacht ist, sich im Grossen Belt und Sund in den Monaten März, April und Mai zeigen wird.

Wenn uns nun das Verhältnis zwischen der Stärke des Stroms an den verschiedenen Orten eines Querschnitts über den Grossen Belt bei Schultz's Grund und eines Querschnitts über den Sund bei Lappegrunden bekannt wäre, so wäre es möglich, zu sehen, ob die Summe aller Zuwächse der verschiedenen Ströme der berechneten Wassermenge entspreche. Vergleich zwischen der Ausströmung aus der Ostsee und dem Strom bei Schultz's Grund

Obschon das Material in dieser Beziehung viel zu wünschen übrig lässt, sind bei Schultz's Grund doch im Laufe eines Jahres täglich 6 Strommessungen in verschiedenen Tiefen angestellt worden, und auf Grund dieser Messungen müssen wir uns einen Begriff bilden von der Variation der Stroms nach der Tiefe und diese Messungen das Verhältnis in der ganzen Breite des Querschnitts vorstellen lassen; wir müssen sie ferner für den Sund gelten lassen, der übrigens wegen seiner Enge bei diesen Veranschlagungen nur eine geringe Rolle spielt.

Aus der Tab. 37 S. 64 sieht man, dass der Strom mittleren Wertes fürs ganze Jahr in $2^1/_2$ und 5 m Tiefe auswärtsgehend und am Boden einwärtsgehend ist. Die Grenze, wo die Wasserbewegung weder aus- nach einwärtsgeht, fällt ungefähr in 7 m Tiefe. Aus der Tab. 36 S. 63 sieht man indessen, dass der resultierende Strom in den Monaten, wo der Oberflächenstrom stark war, auch bis in eine grössere Tiefe auswärtsgehend ist; so ist der resultierenden Strom auswärtsgehend in 10 m Tiefe im Mai und August, wo er sonst einwärtsgehend zu sein pflegt, und an der Oberfläche haben wir in diesen Monaten besonders starken Strom. Wenn man die auswärtsgehende Wassermenge auf die verschiedenen Tiefen des Querschnitts verteilen soll, muss man somit wahrscheinlich weiter hinab als bis die 7 m, welche die Grenze des auswärtsgehenden Stroms, nach dem mittleren Wert gerechnet, bilden, und da man gewöhnlich die Grenze zwischen dem salzhaltigen Bodenwasser und dem weniger salzhaltigen Oberflächenwasser in einer Tiefe von 10—15 m hat, setze ich 10 m als Grenze des Querschnitts an, durch welchen die Vermehrung der Ausströmung stattfindet.

An einer Seekarte gemessen, misst der Flächeninhalt des Querschnitts von Sjællands Odde bis Hasenøre im ganzen rund $3 \cdot 10^9$ cm² in einem Querschnitt von der Oberfläche bis 10 m Tiefe. Der Flächeninhalt eines Querschnitts über den Sund bei Drogden ist ca. $6 \cdot 10^8$ cm², also nur klein im Verhaltnis zum Querschnitt über den Grossen Belt.

Sollen durch einen Querschnitt von $3 \cdot 10^9$ cm² täglich 2 km³ mehr Wasser laufen als sonst, muss die Stromstärke sich um 8 cm/sec steigern.

[1]) Krümmel: Handbuch der Oceanographie I, S. 58.

Wir hätten also zu erwarten, dass der Strom bei Schultz's Grund in den Monaten März und April ca. 8 cm/sec stärker wäre als in den Monaten Januar—Februar. Wie aus Taf. XIII ersichtlich, hat die Stromstärke bereits früher zugenommen, und wenn sich auch der aus der Ostsee stammende Stromzuwachs wahrscheinlich im März geltend macht, so müssen doch auch andere Ursachen mitwirken, und diese Ursachen müssen mutmasslich gleichmässig auf die Ströme bei den 3 Feuerschiffen von Schultz's Grund, Lappegrunden und Drogden wirken, da die Kurven ungefähr denselben Verlauf aufweisen; nur ist die stärkere Ausströmung, die im Februar begann, bei den Feuerschiffen von Drogden und Lappegrunden im März vorbei, während sie bei Schultz's Grund den ganzen März hindurch fortdauert.

Ganz- und halbjährliche Periode des Oberflächenstroms, mit Abweichungen zwischen der angewandten Theorie und den tatsächlichen Verhältnissen verglichen

Es soll demnächst untersucht werden, ob die Theorie von der Abhängigkeit des Stroms vom Winde in gewissen Beziehungen so unvollständig ist, dass die Abweichungen zwischen den beobachteten und den berechneten Monatsmitteln möglicherweise dadurch entstanden sein könnten. In dem Falle könnte dies in zwei Weisen geschehen sein, entweder indem unter gewissen Umständen direkte systematische Abweichungen zwischen den beobachteten und den berechneten Monatsmitteln vorkommen, oder indem die durch den Wind hervorgerufenen Ströme sekundäre Wirkungen haben, die wiederum Ströme verursachen, welche die periodischen Abweichungen hervorbringen.

Die Phasenverschiebung zwischen Wind und Strom

Die bisher erwähnten Wirkungen des Windes entsprachen ihm einigermassen an Dauer; da dies aber nur annäherungsweise gilt und wir überhaupt den näheren Kausalitätszusammenhang zwischen Wind und Strom nicht klargelegt haben, müssen wir als möglich voraussetzen, dass eine systematische Abweichung zwischen den beobachteten und den berechneten Werten aus dem Grunde hervorgerufen werden kann, dass entweder die Stärke oder die Dauer des Windes vom Normalen abweicht, und solche Abweichungen muss es ja geben; ob sie aber in quantitativer Beziehung eine Rolle spielen, ist zweifelhaft.

Die Windverhältnisse über einem Gebiete von der Grösse Dänemarks sind einigermassen gleichmässig, und die Wirkungen der verschiedenen Winde in betreff einer Erzeugung von aus- oder einwärtsgehendem Strom sind, wie wir sahen, auch einigermassen gleichmässig. Sollte also vom Winde eine Abweichung zwischen den beobachteten und berechneten Zahlen hervorgerufen werden, so müsste diese Abweichung der Periode folgen, der der Wind unterworfen ist; man könnte z. B. im Herbst stärkere einwärtsgehende Ströme erhalten als berechnet, bei den zu der Zeit vorherschenden westlichen Winden, oder stärkere auswärtsgehende Ströme als berechnet im April, bei den zu der Zeit vorherrschenden östlichen Winden, oder vielleicht umgekehrt.

Nun sieht man aus Taf. XIII, dass die gefundenen periodischen Abweichungen zwischen den beobachteten und den berechneten Strömen ihre Maxima bei weitem nicht zur selben Zeit des Jahres haben. Vielmehr folgen sich die Perioden einigermassen im nördlichen Kattegat bei den Feuerschiffen von Skagens Rev, Læsø Rende und Læsø Trindelen, und gleichfalls im südlichen Kattegat bei Schultz's Grund und Lappegrunden, während das Maximum bei den südlichen Feuerschiffen 4—5 Monate später eintritt als bei den nördlichen.

Die periodischen Schwankungen der berechneten Differenzen können daher kaum von einer direkten Wirkung des Windes herrühren, die bei der Ausgleichung nicht berücksichtigt worden wäre.

Rühren die periodischen Schwankungen indirekt vom Winde her, müssen sie wegen des genannten Phasenunterschieds der Perioden im nördlichen og südlichen Kattegat dadurch entstehen, dass die Wirkung des Windes irgendwie aufgespart wird, um sich dann zu anderen Zeiten geltend zu machen.

Magazinierung von Wasser in der Ostsee durch den Wind

Die einfachste Weise, in der dies geschehen könnte, wäre, dass der Wind zu Zeiten das Wasser aus dem Kattegat in die Ostsee führte, so dass der Wasserstand hier höher würde, und dass dieser höhere Wasserstand in der folgenden Zeit die auswärtsgehenden Ströme verstärkte, die einwärtsgehenden schwächte.

Es wäre in der Weise möglich, dass die Wirkung des Windes sich, lange nachdem er zu wehen aufhörte, äussern könnte, und dass die periodischen Veränderungen des mittleren Wertes der Windstärke

und -richtung jährliche periodische Veränderungen des Oberflächenstroms ergeben könnten. Solche Veränderungen sind möglicherweise von der durch Ausgleichung gefundenen Funktion der Abhängigkeit des Stroms vom Winde nicht berücksichtigt worden, weil nicht beachtet wurde, dass der Zustand von dem Winde abhängig sein kann, der vor längerer Zeit wehte.

Sollte eine solche Magazinierung von Wasser in der Ostsee stattfinden, so müsste dies sich an den Veränderungen zeigen, die der Wasserstand im Laufe des Jahres durchmacht. Nach KRÜMMEL[1]) dürfen wir annehmen, dass der Unterschied zwischen den mittleren Werten des höchsten und des niedrigsten Wasserstandes an der deutschen Küste 12,5 cm und an der schwedischen Küste 21,3 cm beträgt; der höchste Wasserstand tritt ca. am 1. September, der niedrigste ca. am 1. Mai ein.

Bei Gjedser haben wir eine ähnliche Periode des Wasserstandes; der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstand beträgt nach einer Bearbeitung von ADAM PAULSEN[2]) ca. 12 cm; der höchste Wasserstand tritt im September, der niedrigste im April ein.

Für die Station bei Gjedser und übrigens für alle anderen dänischen Stationen ist in der genannten Bearbeitung die Veränderung des Wasserstandes mit dem Verhältnis zwischen der Summe der Winde von der westlichen Hälfte und von der östlichen Hälfte der Windrose verglichen; es hat sich dadurch gezeigt, dass der Wasserstand der Hauptsache nach in derselben Weise schwankt wie dies Verhältnis.

Wie S. 45 angeführt, wird eine Veränderung des Wasserstandes um 8 cm in der südlichen Ostsee im Laufe von 2 Monaten ausgeglichen werden können, wenn täglich 0,5 $km^3$ Wasser nach Umständen in die Ostsee oder aus derselben heraus transportiert wird, und nach dem oben entwickelten dürfen wir vielleicht annehmen, dass dies einen Strom von ca. 2 cm/sec bei Schultz's Grund ergeben wird. Nach Krümmels Tabelle haben wir die grösste Steigerung des Wasserstandes im Juni—Juli, wo sie an mittlerem Wert der Angaben von der deutschen und schwedischen Küste 7,8 cm in 1 Monat beträgt; der stärkste Fall des Wasserstandes findet sich im Dezember—Januar und beträgt nach einer ähnlichen Berechnung 7,5 cm. Die starke Steigung des Wasserstandes im Juni—Juli ist sicherlich darauf zurückzuführen, dass die östlichen Winde im Frühjahr aufgehört haben und teilweise von westlichen Winden abgelöst worden sind, welche bewirken, dass die Ausströmung etwas verzögert wird; in ähnlicher Weise ist sicherlich der starke Fall des Wasserstandes zu erklären durch eine Kombination der Wirkung des Windes und der Verminderung der Süsswasserzuführung bei Eintritt des Winters, wo der Niederschlag als Eis und Schnee gebunden wird.

Wie dies sich nun auch verhält, so können wir nach der allerdings nur oberflächlichen Schätzung, die es möglich ist, sich zu bilden, bei Schultz's Grund nur eine geringe Schwankung des Stroms wegen Wasserstandveränderungen in der Ostsee vorzufinden erwarten. Hierzu kommt schliesslich noch der Umstand, dass die Kurve des Unterschieds zwischen dem beobachteten und berechneten Strom bei Schultz's Grund der Hauptsache nach entgegengesetzt schwingt von dem, was zu erwarten wäre, wenn die dargestellten Stromdifferenzen von Veränderungen des Wasserstandes in der Ostsee herrühren sollten; dagegen könnten eine geringere Steigung im Juni—Juli und ein Fall im Dezember—Januar, die übrigens sowohl bei Schultz's Grund als bei Lappegrunden und Drogden besonders ausgeprägt sind, wohl mit der Wasserstandveränderung in der Ostsee übereinstimmen.

Wir sehen also, dass die durch die Wasserstandveränderungen verursachten Ströme, wenn es auch nicht ausgeschlossen ist, dass die Wasserstandveränderungen in der Ostsee teilweise vom Winde herrühren können, ihren Einfluss nicht im Kattegat selbst geltend machen können, möglicherweise aber bei Schultz's Grund, Lappegrunden und Drogden bemerkbar sind.

Da der Wind, wie bekannt, eine jährliche Periode hat mit vorherrschenden östlichen Winden im April und vorherrschenden westlichen Winden im Herbst, besteht übrigens die Möglichkeit, dass bei der

[1]) Krümmel: Handbuch der Oceanographie Bd. 1, S. 58.

[2]) Nautisk-meteorologisk Aarbog 1906 udgivet af det danske meteorologiske Institut, København 1907.

Ausgleichung einige Rücksicht auf die durch die Wasserstandveränderungen in der Ostsee erzeugten Ströme genommen sein kann, insofern die Wasserstandveränderungen selbst vom Winde herrühren; möglicherweise ist z. B. die Konstante, mit der die Windstärke der westlichen Winde multipliziert werden soll, durch die Ausgleichung etwas kleiner geworden, als sie sein würde, wenn zu den westlichen Winden nicht gerade eine »Gegenkraft« gehörte, die von dem zur bestimmten Jahreszeit herrschenden Wasserstand in der Ostsee herrührt, der teilweise durch die westlichen Winde selbst hervorgerufen worden ist.

Auch im Kattegat und in der Nordsee können Wasserstandveränderungen zwar vom Wind erzeugt werden, aber die dadurch verursachten Strömungen werden so genau dem Winde folgen, dass man bei Monatsmitteln des Stroms von den Wirkungen absehen kann, die vor dem betrachteten Monat liegen.

Veränderungen des Solenoidefelds im Kattegat wegen der Wirkung des Windes

Eine andere Art und Weise, in der die Wirkung des Windes magaziniert werden kann, haben wir in der Veränderung, die wegen der Wirkung des Windes in der Lage der Wasserschichten stattfindet; die durch den Wind erzeugten Ströme werden das Solenoidefeld verändern können, das sich zwischen zwei Orten findet, und es ist natürlich anzunehmen, dass der durch das Solenoidefeld hervorgerufene Strom nicht so stark ist wie die Ströme, die an der Oberfläche teils direkt teils durch Anstauung des Wassers gegen die Küsten hervorgerufen werden. Ist also in der Intensität des Solenoidefelds eine Veränderung eingetreten, so werden die dadurch hervorgerufenen Augleichungsströme vermutlich von verhältnismässig langer Dauer sein.

Dass der Wind in betreff der Veränderungen der Solenoidefelder eine Rolle spielt, ist nicht zu bezweifeln, übrigens wird aber ein Zusammenwirken der zu verschiedenen Zeiten verschiedenen Verteilung des spezifischen Gewichts und der tatsächlich vorkommenden Ströme Veränderungen des Solenoidefelds bewirken, seien nun die Ströme vom Wind verursacht oder nicht.

Eine völlige quantitative Klarlegung aller jener Verhältnisse, die für den Oberflächenstrom massgebend sind, ist mittels des vorliegenden Materials kaum möglich; im folgenden soll dargetan werden:

1) dass eine gewisse Übereinstimmung besteht zwischen den jährlichen Schwankungen der Differenzen zwischen beobachtetem und berechnetem Strom und zwischen den jährlichen Schwankungen des Solenoidefelds, wo der Strom gemessen wird,
2) dass ein Zusammenhang besteht zwischen den aperiodischen Veränderungen des Solenoidefelds und des Oberflächestroms.

Berechnung von Solenoidefeldern

Zur Veranschaulichung des Verfahrens bei der Berechnung der Solenoidefelder wollen wir einen einzelnen Fall näher besprechen, nämlich die Berechnung des von zwei Senkrechten begrenzten Solenoidefeldes von 0 bis 21 m Tiefe bei den Feuerschiffen von Skagens Rev und Læsø Rende, sowie von zwei Wagerechten zwischen den beiden Feuerschiffen, einer an der Oberfläche und einer in 21 m Tiefe.

Auf Grund der im Nautisk-meteorologisk Aarbog aufgeführten monatlichen mittleren Werte der Temperatur und des Salzgehalts bei den genannten Feuerschiffen wurde für jedes Paar mittlerer Zahlen von Temperatur und Salzgehalt eine Grösse berechnet, $V_{S,T} - V_{35‰,0°}$, die 1000 mal den Unterschied der spezifischen Volumina von zwei Meerwasserproben bedeutet, von denen die eine den Salzgehalt S und die Temperatur T, die andere den Salzgehalt $35‰$ und die Temperatur $0°$ hat. Die Einheit, in der $V_{S,T} - V_{35‰,0°}$ ausgedrückt wird, ist $\frac{cm^3}{1000\,gr}$, und indem das spezifische Gewicht einer Meerwasserprobe wie gewöhnlich durch $1 + \frac{\sigma_t}{1000}$ ausgedrückt wird, hat man:

$$V_{S,T} - V_{35‰,0°} = \left[\frac{1}{1 + \frac{\sigma_t}{1000}} - \frac{1}{1 + \frac{28{,}13}{1000}}\right] \cdot 1000.$$

Da man aus Martin Knudsens Tabellen $\sigma_t$ einer bestimmten Meerwasserprobe (S, T) kennt, lässt die Grösse $V_{S,T} - V_{35‰,0°}$ sich aus der Formel berechnen.

Zur praktischen Ausführung der Rechnung wurde eine Tafel mit einem Kurvensystem benutzt, die in vermindertem Massstab und mit nur einzelnen Kurven Fig. 5 wiedergegeben ist.

Die Zahlen unten an der Figur geben die Salzgehalte an, die Zahlen links die Temperatur und die bei den Kurven angeführten Zahlen die ganzen Werte von $V_{S,T} - V_{35‰,0°}$, für welche die Kurven gelten.

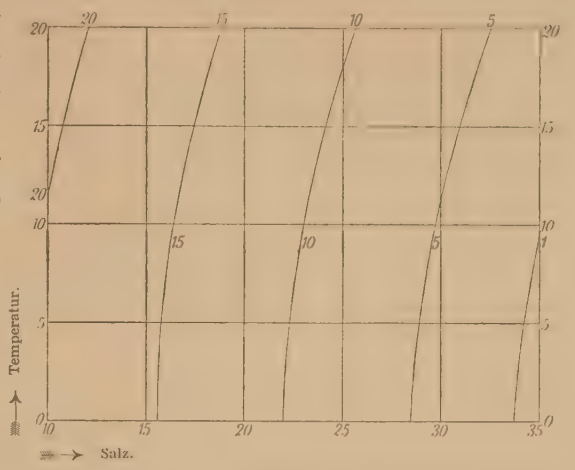


Fig. 5. $V_{S,T} \div V_{35‰,0°}$ ausgedrückt in Einheiten von $10^{-3}$ cgs.

Zur Konstruktion des Kurvensystems wurde obenstehende Formel benutzt; setzen wir $V_{S,T} - V_{35‰,0°} = k$, hat man

$$\sigma_t = \frac{27{,}36 - k}{1 - \frac{27{,}36 - k}{1000}}$$

oder annäherungsweise

$$\sigma_t = (27{,}36 - k) + \frac{(27{,}36 - k)^2}{1000} + \frac{(27{,}36 - k)^3}{1000\,000}.$$

Hierdurch wurden die verschiedenen den ganzen Werten von k entsprechenden $\sigma_t$ bestimmt; für diese Werte von $\sigma_t$ wurden sodann aus den hydrographischen Tabellen zusammengehörende Werte von S und T gefunden, so dass die Punkte, auf Grund derer die Kurven gezeichnet wurden, mit äquidistanten Zwischenräumen so dicht lagen, dass die Kurven mit vollständiger Sicherheit gezeichnet werden konnten; die Entfernung zwischen zwei Kurven, die ganzen Werten von k entsprach, betrug ca. 2 cm, so dass die Grösse $V_{S,T} - V_{35‰,0°}$ sich mit der Genauigkeit von einer Dezimalstelle vollkommen sicher ablesen liess.

Die in der Weise gefundenen Werte von $V_{S,T} - V_{35‰,0°}$ entsprechen denjenigen, die man nach Sandström und Helland-Hansens[1]) Tab. 5 und 6 berechnen kann, indem jedoch die Einheit hier 100 mal grösser ist.

Nachdem die Grösse $V_{S,T} - V_{35‰,0°}$ für die verschiedenen zusammengehörigen monatlichen Mittel von Temperatur und Salzgehalt gefunden worden war, wurde für jedes der beiden Feuerschiffe das Integral

$$E - E_0 = \int (V_{S,T} - V_{35‰,0°})\, dp$$

berechnet, wo p den Druck bezeichnet. Die Integration wurde von der Oberfläche bis 21 m Tiefe ausgedehnt.

Der Druck kann in Dyn pr. Quadratzentimeter angegeben werden, wodurch die Einheit davon $\frac{gr}{cm \cdot sec^2}$ wird.

Von Bjerknes ist der Ausdruck dynamisches Meter eingeführt worden, worunter zu verstehen ist der Zuwachs an Tiefe, bei dem der Druck um $10^5 \frac{Dyn}{cm^2}$ zunimmt.

In dem vorliegenden Falle wird es genügen, das dynamische Meter = 1 m, und also den Druckzuwachs pr. Meter $= 10^5 \frac{Dyn}{cm^2}$ zu setzen, namentlich da es tatsächlich gilt, die Differenz zwischen den beiden Integralen für jedes der Feuerschiffe zu finden und die Abweichungen von den tatsächlichen Werten daher im wesentlichen einander aufheben.

Wenn daher $V_{S,T} - V_{35‰,0°}$ in genannter Weise berechnet und p in Meter ausgedrückt wird, ist die Einheit von $E - E_0$

$$\frac{cm^3}{10^3 gr} \cdot 10^5 \cdot \frac{gr}{cm \cdot sec^2} = \frac{cm^2}{sec^2} \cdot 100.$$

[1]) J. W. Sandstrøm und B. Helland-Hansen: Über die Berechnung von Meeresströmungen. Report on Norwegian Fishery- and Marine-Investigations. Vol II 1902 Nr. 4, Bergen 1903.

Unterstehendes Beispiel enthält für Juli 1906 die Zahlenwerte zur Bestimmung der Integrale der beiden genannten Feuerschiffe.

Skagens Rev, Juli 1906.

| Tiefe | Temp. | Salzgeh. | $V_{S,T} - V_{35^0/_{00},\,0^0}$ | $(V_{S,T} - V_{35^0/_{00},\,0^0})\,dp$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 15,1 | 28,4 | 6,9 | |
| | | | | 30,5 |
| 5 | 14,4 | 30,4 | 5,3 | |
| | | | | 25,0 |
| 10 | 13,6 | 31,0 | 4,7 | |
| | | | | 22,5 |
| 15 | 13,1 | 31,4 | 4,3 | |
| | | | | 20,5 |
| 20 | 12,7 | 31,9 | 3,9 | |
| | | | | 3,9 |
| 21 | (interpoliert) | | 3,8 | |
| 30 | 11,4 | 32,6 | 3,1 | |
| | | | | $E - E_0 = 102,4$ |

Læsø Rende, Juli 1906.

| Tiefe | Temp. | Salzgeh. | $V_{S,T} - V_{35^0/_{00},\,0^0}$ | $(V_{S,T} - V_{35^0/_{00},\,0^0})\,dp$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 15,4 | 22,6 | 11,2 | |
| | | | | 48,2 |
| 5 | 14,5 | 26,6 | 8,1 | |
| | | | | 35,0 |
| 10 | 13,4 | 29,3 | 5,9 | |
| | | | | 26,5 |
| 15 | 12,6 | 30,7 | 4,7 | |
| | | | | 26,4 |
| 21 | 11,9 | 31,4 | 4,1 | |
| | | | | $E - E_0 = 136,1$ |

also: $(E - E_0)_{\substack{\text{Læsø Rende}\\0-21}} - (E - E_0)_{\substack{\text{Skagens Rev}\\0-21}} = 33,7\left[\frac{cm^2}{sec^2}\cdot 100\right]$.

Die mittlere Zahl der in dieser Weise berechneten Werte des Solenoidefelds zwischen Læsø Rende und Skagens Rev bis in 21 m Tiefe ergab sich für alle Monate von Januar 1897 bis Dezember 1908 = 37,1. Der mittlere Wert der Solenoidefelder des Monats Juli 1897—1908 ergab sich = 20,8, also um 16,3 kleiner als das mittlere Jahresmittel; der im Beispiel für Juli 1906 gefundene Wert des Solenoidefelds ist 12,9 grösser als der normale Wert im Juli.

Tab. 26 enthält die mittleren Werte der Solenoidefelder des Jahres sowie den Unterschied zwischen dem Werte der einzelnen Monate und dem Jahresmittel.

*Tabelle 26.* Mittlerer Wert von Solenoidefeldern auf Grund täglicher Beobachtungen 1897—1908.

Die Einheit ist $100 \times \frac{cm^2}{sec^2}$; die positive Umlaufsrichtung geht an der Oberfläche von Station I — Station II

| Stationen I | Stationen II | Tiefen | Jährlicher mittlerer Wert | Differenzen zwischen dem mittleren Wert der einzelnen Monate und dem des Jahres | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| Læsø Rende . . | Skagens Rev. . | 1897—1902 0—11<br>1902—1908 0—10 | 30 | — 4 | — 6 | 1 | 7 | 14 | 6 | — 8 | — 6 | — 3 | 10 | — 1 | —10 |
| Læsø Rende . . | Skagens Rev. . | 0—21 | 37 | 0 | — 2 | 5 | 8 | 10 | — 3 | —16 | — 9 | — 1 | 13 | 1 | — 8 |
| Læsø Trindel. . | Skagens Rev. . | 1897—1902 0—11<br>1902—1908 0—10 | 35 | —10 | —11 | 4 | 8 | 22 | 12 | — 3 | — 4 | — 8 | 9 | — 4 | —15 |
| Anholt Knob. . | Kobbergrunden | 0—17 | 42 | — 2 | 2 | 6 | —11 | 2 | — 6 | — 9 | 5 | 11 | 1 | 0 | 2 |
| Schultz's Grund | Anholt Knob. . | 1897—1902 0—11<br>1902—1908 0—10 | 17 | 0 | 4 | 7 | — 3 | — 2 | — 1 | 4 | 2 | — 1 | — 4 | — 4 | — 2 |
| Schultz's Grund | Anholt Knob. . | 0—25 | 34 | — 1 | 20 | 24 | 3 | — 3 | — 8 | —13 | — 8 | 3 | — 4 | —11 | 0 |

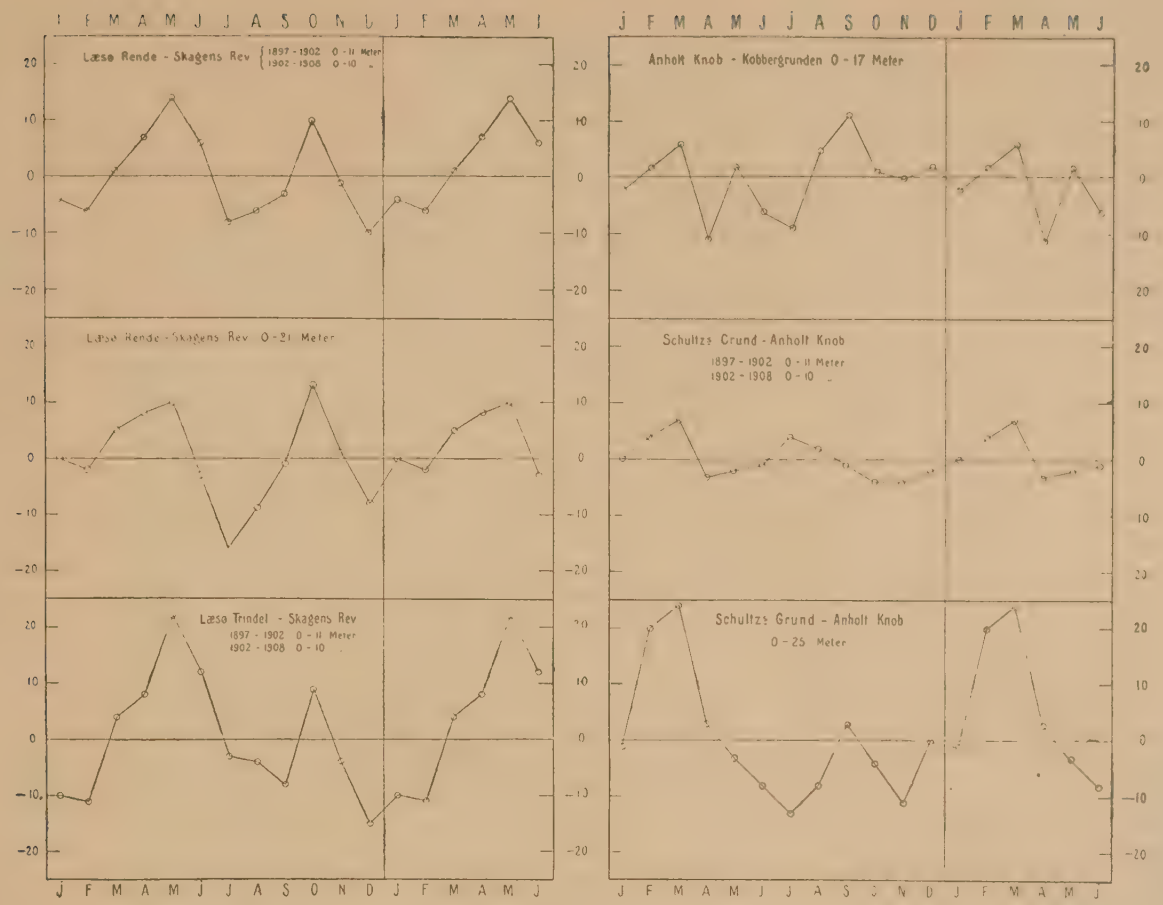

Læsø Rende - Skagens Rev 1897 - 1902 0 - 11 Meter 1902 - 1908 0 - 10
Anholt Knob - Kobbergrunden 0 - 17 Meter
Læsø Rende - Skagens Rev 0 - 21 Meter
Schultzs Grund - Anholt Knob 1897 - 1902 0 - 11 Meter 1902 - 1908 0 - 10
Læsø Trindel - Skagens Rev 1897 - 1902 0 - 11 Meter 1902 - 1908 0 - 10
Schultzs Grund - Anholt Knob 0 - 25 Meter
J F M A M J J A S O N D J F M A M J

Fig. 6. Die Schwankung des Solenoidefeldes im Laufe des Jahres. Graphische Darstellung von Tabelle 26.

Tab. 28 enthält schliesslich den Unterschied zwischen den Solenoidefeldern der einzelnen Monate 1897—1908 und den für die Monate derselben Periode gefundenen mittleren Werten.

Fig. 6 enthält eine graphische Darstellung der Tab. 26 aufgeführten Werte der Abweichung des Solenoidefeldes von der Norm in den einzelnen Monaten des Jahres.

Vergleich zwischen der Abweichung der Solenoidefelder und des Stroms von der Norm bei Hinwegelimination der direkten Wirkungen des Windes

Wir werden jetzt sehen, ob die Tab. 26 angeführten Zahlen einen Zusammenhang aufweisen mit den Monatsmitteln, die sich aus den in den Tabb. 5—14 aufgeführten Differenzen a—b berechnen lassen.

Man sieht sofort aus der graphischen Darstellung von letzteren, Taf. XIII, dass eine gewisse Ähnlichkeit mit den Fig. 6 dargestellten Differenzen der Solenoidefelder besteht; nicht in allen Fällen ist die Ähnlichkeit besonders in die Augen springend, und um eine vom subjektiven Erachten unabhängigere Wertschätzung zu erhalten, haben wir Tab. 27 die Grössen aufgeführt, welche die Korrelation zwischen den Taf. XIII graphisch dargestellten Stromdifferenzen x und den in Fig. 6 graphisch dargestellten Solenoidefelddifferenzen y charakterisieren.

Die Korrelationen wurden nach Pearsons[1]) Methode berechnet, wonach der Korrelationsfaktor r mittels der Formel

$$r = \frac{\Sigma xy}{\sqrt{\Sigma x^2 \cdot \Sigma y^2}},$$

bestimmt wurde, indem x und y einander entsprechende Wertpaare sind.

Die Grösse r kann zwischen den Werten — 1 und + 1 liegen und wird bezw. — 1 oder + 1 betragen, wenn $y = \mp \alpha x$ ist, wo $\alpha$ eine konstante positive Zahl aller zusammengehörigen Wertpaare von

[1]) Siehe z. B. Davenport: Statistical Methods. New York 1899 und R. Hooker: An elementary Explanation of Correlation. Quarterly Journal 1908 p. 277 Royal Met. Soc. London 1908.

x und y bezeichnet; haben die Grössen x und y nichts miteinander zu tun, wird r nur so viel von 0 abweichen, wie dem mittleren Fehler gemäss zu erwarten ist.

Der mittlere Fehler von r, den wir als $\sigma_r$ bezeichnen, ist von PEARSON und FILON [1]) als

$$\sigma_r = (1 - r^2) \frac{1}{\sqrt{n}},$$

bestimmt worden, wo n die Anzahl der Wertpaare x und y bezeichnet.

In Tab. 27 ist der Ort angegeben, wo der Strom gemessen wurde, die Lage des Solenoidefeldes y, die mittleren Abweichungen $\sigma_x$ und $\sigma_y$ bzw. der Grössen x und y, sowie schliesslich der Korrelationsfaktor r, dessen mittlerer Fehler und das Verhältnis zwischen ihnen.

*Tabelle 27.*

| Strom x | Solenoidefeld y | $\sigma_x$ | $\sigma_y$ | r | $\sigma_r$ | $\frac{r}{\sigma_r}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Skagens Rev | Læsø Rende—Skagens Rev 0—11 m / 0—10 m | 3,7 | 7,3 | 0,29 | 0,27 | 1,1 |
| Læsø Rende | » » | 1,8 | 7,3 | 0,59 | 0,19 | 3,1 |
| Skagens Rev | Læsø Rende—Skagens Rev 0—21 m | 3,7 | 8,0 | 0,25 | 0,27 | 0,9 |
| Læsø Rende | » » | 1,8 | 8,0 | 0,64 | 0,17 | 3,8 |
| Skagens Rev | Læsø Trindel—Skagens Rev 0—11 m / 0—10 m | 3,7 | 10,6 | 0,22 | 0,27 | 0,8 |
| Læsø Trindel | » » | 1,8 | 10,6 | 0,66 | 0,16 | 4,1 |
| Kobbergrunden | Anholt Knob—Kobbergrunden 0—17 m | 2,0 | 6,0 | 0,59 | 0,19 | 3,1 |
| Anholt Knob | » » | 2,9 | 6,0 | 0,16 | 0,28 | 0,6 |
| Anholt Knob | Schultz's Grund-Anholt Knob 0—11 m / 0—10 m | 2,9 | 3,4 | 0,00 | 0,29 | 0,0 |
| Schultz's Grund | » » | 4,1 | 3,4 | 0,69 | 0,15 | 4,6 |
| Anholt Knob | Schultz's Grund—Anholt Knob 0—25 m | 2,9 | 11,0 | 0,64 | 0,17 | 3,8 |
| Schultz's Grund | » » | 4,1 | 11,0 | 0,64 | 0,17 | 3,8 |

Man sieht, dass das Verhältnis zwischen den Korrelationsfaktoren und ihren mittleren Fehlern in zwei Gruppen zerfällt; in der einen ist das Verhältnis ca. 3—4, in der anderen ca. 1 oder kleiner als 1. Ich gehe jetzt davon aus, dass der Zusammenhang zwischen den beiden Reihen von Grössen sicher nachgewiesen ist, wenn das Verhältnis zwischen den Korrelationsfaktoren und dem mittleren Fehler 3 oder mehr ist, während sein Vorhandensein nur in geringem Grade wahrscheinlich ist, wenn das Verhältnis 1 ist.

Man kann in den betrachteten Gebieten der Schwankung des Solenoidefeldes keinen nennenswerten Einfluss auf den Strom bei Skagens Rev zusprechen; dies beruht wahrscheinlich auf dem Umstand, dass das Solenoidefeld nur bis verhältnismässig geringe Tiefen berechnet worden ist.

Dagegen ergibt sich der Zusammenhang zwischen dem Strom bei Læsø Rende und dem Solenoidefeld Læsø Rende—Skagens Rev als gut, es sei dass man mit dem Felde bis in 10 oder bis in 21 m Tiefe rechnet; doch wird der Faktor r letzterenfalls etwas grösser.

Auch zwischen dem Strom bei Læsø Trindel und dem Solenoidefeld Læsø Trindel—Skagens Rev ist der Zusammenhang gut, obschon mit dem Feld nur bis in ca. 10 m Tiefe gerechnet ist.

Ein ähnliches Verhältnis macht sich geltend bei dem Strom bei Anholt Knob und dem Strom bei Schultz's Grund im Zusammenhang mit dem Solenoidefelde zwischen diesen beiden Schiffen bis in 10 m Tiefe; zwischen dem Strom bei Anholt Knob und dem Solenoidefelde findet sich keine Übereinstimmung, zwischen dem Strom bei Schultz's Grund und dem Solenoidefelde aber gute Übereinstimmung.

Wird das Solenoidefeld bis in 25 m Tiefe ausgedehnt, so erhalten wir gute Übereinstimmung sowohl mit dem Strom bei Anholt Knob als mit dem bei Schultz's Grund.

[1]) Pearson and Filon, Mathematical Contributions to the Theory of Evolution. Phil. Transact. Vol. 191, 1898 A. pag. 229.

*Tabelle 28.* Differenz zwischen den Solenoidefeldern der einzelnen Monate 1897—1908 und den für die Monate derselben Periode gefundenen mittleren Werten.

Die Einheit ist 100 $\frac{cm^3}{sec^2}$; die positive Umlaufsrichtung geht an der Oberfläche vom erstgenannten nach dem letztgenannten Feuerschiff.

**Læsø Rende — Skagens Rev**
1897—1902 0—11 Meter
1902—1908 0—10 »

| Jahr | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 | 1 | | 3 | — 4 | —11 | — 7 | — 2 | 13 | — 11 | —13 | —12 | 0 |
| 1898 | — 5 | 3 | — 5 | 3 | 3 | — 9 | —13 | — 7 | — 8 | 6 | 4 | — 9 |
| 1899 | 2 | 4 | — 3 | — 3 | 16 | 1 | 13 | 3 | 4 | —12 | 11 | 5 |
| 1900 | 26 | | 4 | —10 | — 5 | 11 | 15 | 13 | — 9 | — 9 | 6 | 5 |
| 1901 | 7 | 18 | 16 | 13 | 6 | — 4 | 5 | 6 | 4 | 4 | —16 | 0 |
| 1902 | —17 | 7 | 15 | 10 | — 4 | 4 | —14 | —20 | — 1 | 1 | —15 | — 6 |
| 1903 | — 4 | —17 | — 5 | —12 | — 4 | — 2 | —13 | —13 | — 1 | — 6 | 6 | 6 |
| 1904 | 4 | —12 | — 5 | — 9 | 14 | — 3 | — 8 | — 2 | 12 | 11 | 3 | 2 |
| 1905 | — 6 | — 5 | 10 | 8 | 6 | 15 | — 5 | 13 | 10 | — 1 | 8 | 0 |
| 1906 | 3 | 9 | — 8 | 4 | 17 | 6 | 6 | 13 | 3 | 2 | — 7 | — 2 |
| 1907 | — 6 | 9 | —21 | —10 | — 4 | — 9 | 10 | —15 | 6 | 21 | 6 | 4 |
| 1908 | — 8 | —15 | — 3 | 10 | — 5 | — 4 | 6 | — 4 | — 9 | — 2 | 7 | — 6 |

**Anholt Knob — Kobbergrunden**
0—17 Meter

| Jahr | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 | —21 | | — 9 | 8 | — 3 | 24 | 19 | 12 | 8 | 8 | 15 | —12 |
| 1898 | — 1 | 12 | — 4 | — 9 | 2 | 3 | —28 | 1 | 13 | — 13 | — 7 | 1 |
| 1899 | — 9 | — 3 | 8 | 34 | 89 | 10 | — 3 | —16 | 11 | 4 | — 2 | 1 |
| 1900 | 14 | | | — 5 | —16 | — 5 | — 2 | —14 | 14 | —11 | — 6 | 4 |
| 1901 | — 4 | | | — 3 | —26 | —10 | —11 | —12 | —24 | 3 | — 6 | — 7 |
| 1902 | 4 | 18 | 9 | — 2 | —26 | 14 | —15 | 8 | 4 | 16 | 2 | 28 |
| 1903 | — 8 | 6 | —10 | 14 | 28 | —11 | 4 | 5 | — 4 | —10 | 6 | 2 |
| 1904 | 27 | —11 | —20 | — 5 | — 2 | — 4 | 24 | — 5 | — 6 | 1 | 4 | — 8 |
| 1905 | 1 | 2 | 22 | 1 | —12 | — 4 | — 7 | — 1 | — 9 | —11 | — 9 | 15 |
| 1906 | 5 | 4 | 3 | — 6 | 0 | —17 | 26 | 0 | 1 | — 4 | — 6 | 10 |
| 1907 | 7 | 6 | 19 | — 6 | — 9 | 2 | — 8 | 22 | — 8 | 18 | 10 | — 4 |
| 1908 | —13 | — 9 | —19 | —21 | —24 | | | | | | | |

**Læsø Rende — Skagens Rev**
0—21 Meter

| Jahr | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 | 11 | | 9 | 1 | — 10 | — 8 | 0 | 8 | —16 | —14 | —16 | 1 |
| 1898 | — 9 | 5 | — 1 | 9 | 0 | —14 | —10 | — 6 | —12 | 8 | — 3 | —16 |
| 1899 | 4 | 2 | — 4 | — 4 | 20 | 7 | 6 | 12 | — 3 | —12 | 2 | 16 |
| 1900 | 25 | | 2 | —16 | — 3 | 13 | 14 | 14 | —18 | — 4 | 15 | 2 |
| 1901 | 8 | 20 | 18 | 17 | 8 | — 6 | 5 | — 4 | 2 | 0 | —19 | — 2 |
| 1902 | —26 | 4 | 4 | 11 | —15 | 4 | —20 | —24 | — 7 | 1 | —21 | —10 |
| 1903 | — 4 | —28 | —10 | —14 | — 8 | — 2 | —26 | —22 | 8 | —15 | 11 | 5 |
| 1904 | — 4 | — 8 | — 9 | —18 | — 7 | 3 | 0 | 0 | 16 | 9 | 9 | 1 |
| 1905 | — 1 | — 5 | 9 | 11 | 8 | 21 | — 1 | 20 | 12 | 3 | 18 | — 2 |
| 1906 | 2 | 13 | 1 | 8 | 21 | 5 | 13 | 14 | 15 | — 4 | — 9 | 1 |
| 1907 | — 1 | 14 | —24 | —12 | — 6 | —19 | 16 | —12 | 9 | 28 | 8 | 14 |
| 1908 | — 7 | —18 | 5 | 6 | — 9 | — 4 | 3 | 0 | — 7 | 1 | 5 | —10 |

**Schultz's Grund — Anholt Knob**
1897—1902 0—11 Meter
1902—1908 0—10 »

| Jahr | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 | 2 | | 19 | 0 | 7 | 0 | — 9 | — 9 | — 4 | — 1 | 10 | 12 |
| 1898 | — 6 | 0 | 10 | 6 | —14 | — 2 | —14 | 6 | — 7 | — 1 | — 5 | 0 |
| 1899 | 1 | 11 | — 1 | 5 | 4 | 1 | 10 | 6 | — 6 | 0 | 0 | 18 |
| 1900 | — 6 | — 3 | 0 | 8 | 8 | 6 | — 4 | —13 | 0 | 0 | 16 | — 2 |
| 1901 | 5 | | | — 5 | 1 | — 8 | — 6 | — 2 | 1 | — 1 | 7 | 19 |
| 1902 | 13 | 14 | —20 | — 8 | 3 | — 3 | 19 | 7 | 13 | — 1 | 1 | — 5 |
| 1903 | 7 | — 4 | 10 | —14 | 3 | 7 | 15 | | 5 | 10 | — 2 | 0 |
| 1904 | —14 | —23 | — 9 | — 4 | — 1 | 14 | 1 | 12 | 9 | — 5 | — 3 | —16 |
| 1905 | 8 | 20 | 4 | —13 | — 1 | — 2 | 15 | 2 | — 3 | — 1 | 2 | — 9 |
| 1906 | — 4 | 2 | —10 | 12 | — 1 | — 2 | — 8 | — 4 | — 9 | — 2 | —10 | 14 |
| 1907 | 10 | — 5 | —21 | 16 | — 2 | — 7 | —16 | — 5 | 2 | 5 | —12 | —33 |
| 1908 | —18 | —12 | 18 | — 3 | — 6 | — 4 | — 2 | 0 | 0 | — 2 | — 5 | — 1 |

**Læsø Trindel — Skagens Rev**
1897—1902 0—11 Meter
1902—1908 0—10 »

| Jahr | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 | — 8 | | — 7 | 3 | 7 | 2 | 1 | 23 | 1 | —16 | 2 | 2 |
| 1898 | —11 | — 5 | — 5 | — 8 | 13 | 5 | 3 | 10 | —13 | — 2 | 2 | —11 |
| 1899 | 6 | 22 | — 6 | 1 | 15 | — 9 | 31 | — 9 | — 4 | —23 | — 6 | 4 |
| 1900 | 34 | 8 | —22 | — 9 | —24 | 17 | 4 | 24 | —12 | —25 | 8 | — 2 |
| 1901 | 8 | 26 | | — 3 | 2 | — 9 | 3 | —13 | 3 | — 2 | —18 | — 4 |
| 1902 | —14 | —23 | 35 | 16 | —25 | —22 | — 5 | —13 | — 8 | 3 | — 7 | — 2 |
| 1903 | — 1 | 2 | — 9 | — 2 | — 5 | 14 | —21 | —20 | 6 | 8 | — 6 | 17 |
| 1904 | 8 | — 11 | — 2 | 0 | —24 | —14 | — 9 | 2 | 19 | 6 | —14 | 5 |
| 1905 | —12 | — 4 | 51 | —16 | 10 | 17 | —17 | 7 | — 4 | — 4 | 13 | — 6 |
| 1906 | 8 | | —19 | 12 | 45 | —14 | — 8 | 5 | 6 | 11 | — 11 | — 8 |
| 1907 | — 9 | 7 | —29 | — 7 | — 5 | 23 | 12 | —13 | 9 | 42 | 31 | 16 |
| 1908 | —10 | — 21 | 13 | 14 | — 8 | —10 | 8 | — 3 | — 3 | 2 | 4 | —12 |

**Schultz's Grund — Anholt Knob**
0—25 Meter

| Jahr | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 | 9 | | 28 | 10 | 26 | —21 | 9 | —17 | — 28 | — 5 | 21 | 29 |
| 1898 | —28 | 5 | 23 | 17 | —29 | —20 | —19 | 25 | — 42 | 9 | —19 | —10 |
| 1899 | 21 | 24 | — 4 | — 9 | 8 | 35 | 15 | 14 | —22 | — 5 | 4 | 44 |
| 1900 | —18 | 8 | 8 | — 9 | 5 | 5 | — 4 | —27 | 3 | 0 | 34 | —15 |
| 1901 | 7 | | | —30 | — 5 | —23 | — 9 | —19 | 11 | —21 | 19 | 47 |
| 1902 | 19 | 23 | —40 | —11 | 1 | —10 | 35 | 13 | 11 | — 11 | — 4 | 11 |
| 1903 | 8 | —28 | 5 | —14 | 27 | 38 | — 3 | | 34 | 13 | — 15 | 0 |
| 1904 | —38 | —35 | — 1 | —29 | —21 | 23 | 20 | 38 | 37 | —14 | 6 | —30 |
| 1905 | 31 | 52 | 3 | —12 | — 2 | — 11 | 11 | 0 | 0 | 28 | 21 | — 34 |
| 1906 | — 9 | — 2 | —25 | 47 | —14 | 7 | —45 | —10 | 0 | —14 | —47 | 22 |
| 1907 | 24 | — 18 | —46 | 36 | 13 | —13 | —26 | —24 | 4 | 11 | —22 | —58 |
| 1908 | —25 | —27 | 48 | 5 | — 8 | — 11 | 16 | 6 | — 8 | 9 | 2 | — 6 |

Das Solenoidefeld Anholt Knob—Kobbergrunden bis 17 Meter Tiefe zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem Strom bei Kobbergrunden, aber keine Übereinstimmung mit dem Strom bei Anholt Knob.

Es wird nach den gefundenen Werten von r natürlich sein, anzunehmen, dass die an den verschiedenen Orten vorkommenden Solenoidefeldschwankungen, entsprechende Veränderungen der Ströme bedingen, und es wird dadurch verständlich, dass die Perioden im nördlichen und im südlichen Kattegat verschiedene Phasen haben; es ist nämlich nicht unnatürlich, dass die Veränderung der Temperatur- und Salzgehaltverteilung, die stattfinden muss, damit sich das Solenoidefeld verändere, Zeit beansprucht; man kann sich vielleicht vorstellen, dass die Zeit von dem Augenblick an, wo sich eine Veränderung des Solenoidefeldes bei Skagens Rev zeigt, bis sich die entsprechende Veränderung im südlichen Kattegat zeigt, von derselben Grössenordnung ist, wie die Zeit, welche ein Temperaturmaximum in den tieferen Wasserschichten gebraucht, um dieselbe Strecke zurückzulegen. Die Zeitdauer der Bewegung des Temperaturmaximums in den tieferen Schichten beträgt nach früheren Untersuchungen[1]) ca. 2 Monate.

Schliesslich wird es uns, wenn wir die Veränderung des Solenoidefelds als Ursache der gefundenen halb- und ganzjährlichen Perioden des Stroms betrachten, möglich, es uns zu erklären, dass die Perioden an verschiedenen Orten so ungleichmässig auftreten, wie es z. B. bei Kobbergrunden und Anholt Knob der Fall ist. Bei Anholt Knob ist die ganzjährliche Periode vollständig vorherrschend im Verhältnis zur halbjährlichen, während bei Kobbergrunden das umgekehrte der Fall ist; die verschiedene Verteilung des Salzgehalts an den verschiedenen Orten muss nämlich ohne Zweifel ganz verschiedene Veränderungen der Solenoidefelder hervorrufen, wenn die Verschiebungen der Wasserschichten über grössere Gebieten auch dieselben sind.

Vergleich zwischen den aperiodischen Veränderungen der Solenoidefelder und des Oberflächenstroms

Aus obigem geht hervon, dass sicherlich ein Zusammenhang besteht zwischen der Periodizität der Ströme und der Solenoidefelder, und aller Wahrscheinlichkeit nach wird erstere jedenfalls teilweise von letzterer erzeugt sein.

Wir werden nun untersuchen, wie die Veränderungen der Solenoidefelder entstehen.

Vorläufig beschränken wir uns auf die Untersuchung, ob zwischen den tatsächlich vorkommenden Oberflächenströmen und den Veränderungen der Solenoidefelder ein Zusammenhang besteht.

Dazu benutzen wir die Tab. 28 aufgeführten Werte der Abweichung der Solenoidefelder von der Norm in jedem der betrachteten Monate. Die Zahlen dieser Tabelle sind im voraus von einer jährlichen Periode befreit, und wir vergleichen sie daher mit entsprechenden Zahlen, die aus dem resultierenden Strom (a) der Tabellen 5—14 gebildet sind, indem vom resultierenden Strom dessen mittlere Zahl für jeden Monat abgezogen wurde.

Die so gefundenen Zahlen der Abweichung des resultierenden monatlichen Stroms von der Norm sind in Tab. 29 für die Periode 1897—1908 angeführt.

Indem man den Korrelationsfaktor des Zusammenhangs zwischen den Zahlen von Tab. 28 und Tab. 29 sucht, wird man also von den jährlichen Perioden absehen können, die sich sowohl im Solenoidefeld als im monatlichen Mittelstrom finden; was verglichen wird, sind die aperiodischen Veränderungen, die von der periodischen Veränderung unabhängig sind, die etwa im Solenoidefeld hervorgebracht werden kann durch Veränderung in der Lage der isodensen Flächen nach der Jahreszeit; gleichfalls ist der Vergleich in betreff des Stroms unabhängig von der jährlichen Periode, die teils von kosmischen Ursachen teils von der jährlichen Periode des Windes herrühren kann.

Dass tatsächlich ein Zusammenhang zwischen den aperiodischen Veränderungen des Oberflächenstroms u und des Solenoidefeldes v existiert, zeigen die in untenstehender

[1]) Martin Knudsen: De hydrografiske Forhold i de danske Farvande indenfor Skagen (S. 51) Beretning fra Kom. for vid. Unders. af danske Farvande Bd. 2 Hefte 2, København 1899.

J. P. Jacobsen: Mittelwerte von Temperatur und Salzgehalt (S. 24.) Medd. fra Kom. for Havunders. B. I Nr. 10.

*Tabelle 29.* Differenz zwischen Oberflächenströmen der einzelnen Monate 1897—1908 und den für die Monate derselben Periode gefundenen mittleren Werten.

**Skagens Rev**

| Jahr | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 | 57 | —19 | 12 | 5 | 3 | 4 | 7 | 8 | —32 | — 2 | — 4 | 1 |
| 1898 | —33 | 11 | 9 | 29 | 1 | — 5 | —13 | 4 | —15 | 21 | 5 | —46 |
| 1899 | — 1 | — 1 | —34 | —45 | 17 | 15 | 12 | 22 | —15 | —34 | —40 | 43 |
| 1900 | 28 | 47 | 3 | —15 | 1 | 14 | 1 | 20 | —33 | — 6 | 45 | —10 |
| 1901 | 22 | — 4 | 29 | — 7 | 24 | — 7 | 16 | 1 | 53 | —22 | —21 | 1 |
| 1902 | —25 | 20 | — 2 | 27 | — 6 | —11 | —13 | — 8 | —13 | 21 | 17 | 9 |
| 1903 | 3 | —45 | —46 | — 5 | — 5 | 24 | — 8 | —24 | 21 | — 6 | —27 | 32 |
| 1904 | —18 | 52 | 35 | —25 | —18 | —14 | —19 | — 3 | 30 | —27 | —17 | —21 |
| 1905 | —14 | —19 | 6 | — 3 | — 5 | 15 | —18 | 10 | 12 | 13 | 19 | —25 |
| 1906 | — 5 | 2 | —22 | 2 | 5 | — 4 | — 6 | — 4 | 15 | — 7 | 12 | —13 |
| 1907 | — 6 | —11 | —42 | 13 | — 3 | —12 | 14 | —15 | —14 | 10 | 13 | 28 |
| 1908 | — 8 | —32 | 49 | 22 | —16 | —15 | 28 | — 8 | — 5 | 33 | 0 | 2 |
| Monatliches Mittel | — 7 | — 2 | 13 | 24 | 15 | 9 | — 6 | — 7 | 2 | 16 | 6 | 4 |

**Kobbergrunden**

| Jahr | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 | 3 | —15 | 8 | 4 | 0 | — 3 | 11 | 8 | — 6 | 2 | — 5 | 9 |
| 1898 | — 3 | 1 | 1 | 11 | 2 | 1 | — 6 | 3 | 1 | 2 | — 1 | — 8 |
| 1899 | 3 | 1 | — 8 | — 3 | 6 | 2 | — 2 | 1 | — 4 | — 1 | — 4 | 11 |
| 1900 | — 1 | | | — 2 | — 3 | — 3 | 1 | 9 | —10 | — 3 | 10 | — 7 |
| 1901 | 3 | | | 0 | 1 | — 2 | 3 | — 7 | 10 | 1 | — 3 | 5 |
| 1902 | — 5 | 3 | — 6 | 3 | 0 | 2 | — 3 | 4 | 1 | — 3 | 2 | — 4 |
| 1903 | 1 | — 3 | 3 | — 6 | — 2 | 6 | 0 | — 4 | 0 | 4 | — 4 | 12 |
| 1904 | 9 | 11 | 6 | — 4 | 2 | 1 | 3 | — 10 | 6 | — 5 | — 8 | — 4 |
| 1905 | 0 | 2 | 3 | — 1 | — 3 | 1 | — 7 | — 1 | 1 | — 1 | 5 | — 8 |
| 1906 | 2 | 2 | — 5 | — 1 | — 5 | — 4 | 0 | — 2 | 4 | 11 | — 3 | — 7 |
| 1907 | — 4 | 2 | — 9 | 4 | 0 | 3 | 0 | — 5 | 6 | — 6 | 13 | 3 |
| 1908 | —11 | — 3 | 9 | — 7 | 0 | — 4 | | | | | | |
| Monatliches Mittel | 7 | 7 | 12 | 8 | 4 | — 2 | — 6 | 2 | 6 | 8 | 6 | 7 |

**Læsø Rende**

| Jahr | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 | 19 | | — 2 | 0 | — 1 | 1 | — 4 | 22 | — 15 | — 9 | —12 | 0 |
| 1898 | —13 | — 3 | — 1 | 7 | — 3 | —12 | —26 | — 1 | — 6 | 19 | 6 | —31 |
| 1899 | 2 | 3 | 4 | —20 | 9 | — 6 | 17 | 3 | —10 | —25 | —22 | 26 |
| 1900 | 22 | | — 6 | — 2 | — 8 | 14 | 9 | 19 | —26 | —19 | 32 | —12 |
| 1901 | 11 | 13 | 11 | 7 | 8 | —10 | 16 | 3 | 30 | — 7 | — 27 | 7 |
| 1902 | —26 | 11 | — 5 | 20 | —15 | 4 | —22 | —10 | 0 | 2 | 12 | — 7 |
| 1903 | — 1 | —25 | — 3 | — 8 | 6 | — 7 | — 2 | —21 | 19 | 1 | — 5 | 27 |
| 1904 | 18 | 19 | 18 | — 5 | — 7 | — 2 | — 1 | — 15 | 18 | — 2 | — 20 | —14 |
| 1905 | — 8 | — 3 | 15 | —10 | — 1 | 14 | —14 | 20 | 7 | —16 | 17 | —18 |
| 1906 | 7 | 8 | —26 | 9 | 10 | — 5 | 4 | 5 | 1 | 16 | —12 | — 6 |
| 1907 | —14 | — 2 | —26 | 0 | 6 | 5 | 13 | —22 | — 9 | 25 | 23 | 13 |
| 1908 | —20 | —19 | 22 | 2 | — 2 | 3 | 7 | — 5 | — 5 | 15 | 7 | 11 |
| Monatliches Mittel | 18 | 17 | 29 | 28 | 27 | 20 | 9 | 11 | 18 | 32 | 24 | 24 |

**Anholt Knob**

| Jahr | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 | 28 | | — 1 | 7 | — 2 | — 9 | 16 | — 3 | — 17 | — 5 | —14 | — 6 |
| 1898 | —14 | 11 | 14 | 15 | —10 | — 2 | 0 | 19 | — 4 | 15 | 3 | —17 |
| 1899 | 13 | 16 | —14 | —10 | 4 | 21 | — 2 | 0 | —16 | — 8 | — 6 | 33 |
| 1900 | 1 | 22 | — 3 | — 3 | — 6 | 1 | 3 | 17 | —15 | — 5 | 28 | — 24 |
| 1901 | — 8 | | | 0 | 6 | — 8 | 15 | —17 | 18 | — 7 | — 1 | 14 |
| 1902 | —12 | 2 | — 8 | 17 | 6 | 14 | — 7 | — 7 | — 6 | — 7 | 12 | —10 |
| 1903 | 6 | —18 | — 7 | — 2 | 6 | 9 | —11 | — 7 | 6 | 9 | — 7 | 18 |
| 1904 | —16 | 13 | 14 | — 9 | —11 | — 4 | 8 | — 6 | 12 | —15 | — 9 | — 2 |
| 1905 | 8 | — 4 | — 4 | — 2 | 3 | — 4 | —23 | 13 | 6 | 9 | 7 | —16 |
| 1906 | 7 | 1 | 0 | 3 | — 2 | — 1 | — 6 | 1 | 20 | 1 | — 2 | — 5 |
| 1907 | 5 | —15 | — 3 | —10 | 2 | — 1 | 3 | — 7 | 1 | — 1 | 1 | 4 |
| 1908 | —16 | — 1 | 12 | —11 | 2 | —10 | 2 | — 1 | — 8 | 16 | —11 | 7 |
| Monatliches Mittel | 1 | 8 | 5 | 3 | — 2 | —11 | —21 | —18 | — 5 | 0 | — 2 | 8 |

**Læsø Trindel**

| Jahr | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 | 11 | —24 | 5 | 11 | 6 | — 9 | 3 | 1 | — 9 | —15 | — 5 | — 8 |
| 1898 | —13 | — 3 | — 5 | 8 | — 3 | 1 | 4 | 3 | —11 | 7 | — 8 | —21 |
| 1899 | — 2 | 3 | — 9 | —13 | 7 | — 5 | 4 | 2 | —16 | —15 | —12 | 26 |
| 1900 | 6 | 12 | —14 | —10 | — 7 | 8 | — 7 | 13 | —21 | —13 | 29 | —11 |
| 1901 | 8 | | | — 8 | 1 | — 6 | 5 | —12 | 13 | —12 | — 4 | 7 |
| 1902 | — 5 | 10 | 5 | 9 | —10 | — 6 | 4 | 5 | —12 | 0 | 15 | —11 |
| 1903 | 11 | —23 | — 4 | 13 | — 5 | 4 | —11 | — 7 | 16 | 9 | — 9 | 10 |
| 1904 | —12 | 16 | 9 | — 7 | — 3 | — 3 | 4 | — 3 | 9 | —15 | —10 | 1 |
| 1905 | — 5 | 0 | 15 | —13 | — 4 | 3 | —23 | 19 | — 3 | 2 | 1 | —18 |
| 1906 | 7 | 9 | —10 | 13 | 3 | —11 | 8 | — 1 | 10 | 7 | — 9 | —11 |
| 1907 | 3 | 0 | —19 | — 6 | 2 | 19 | 11 | 8 | 8 | 22 | 28 | 31 |
| 1908 | —15 | — 3 | 32 | 6 | 12 | — 1 | — 7 | — 8 | 11 | 20 | — 14 | 1 |
| Monatliches Mittel | 14 | 17 | 24 | 21 | 22 | 14 | 4 | 10 | 17 | 22 | 14 | 17 |

**Schultz's Grund**

| Jahr | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1897 | 25 | | 15 | 6 | 0 | — 9 | — 4 | 14 | —14 | 12 | — 6 | 2 |
| 1898 | —19 | 14 | 5 | 16 | —11 | 5 | — 6 | 14 | —13 | 8 | 10 | —37 |
| 1899 | 22 | 14 | —20 | — 9 | 2 | 9 | 0 | 18 | — 22 | —23 | —12 | 45 |
| 1900 | 6 | 21 | — 7 | —15 | 13 | 3 | 7 | 23 | —27 | —10 | — 8 | —26 |
| 1901 | 10 | | | 4 | 14 | —11 | 20 | — 8 | 30 | — 2 | — 8 | 18 |
| 1902 | —18 | 17 | —10 | 16 | —26 | 11 | — 3 | 3 | — 8 | — 2 | 19 | —18 |
| 1903 | 11 | —36 | — 1 | 4 | 6 | 14 | — 1 | —23 | 24 | 6 | — 3 | 25 |
| 1904 | — 4 | 17 | 20 | —14 | 3 | —20 | 9 | — 6 | 24 | —13 | —10 | —13 |
| 1905 | 6 | — 3 | 12 | —11 | 6 | 17 | —28 | 18 | — 3 | — 6 | 17 | —22 |
| 1906 | — 6 | — 4 | — 24 | — 1 | 9 | — 3 | 3 | — 8 | — 8 | 3 | — 5 | 14 |
| 1907 | — 7 | —24 | —18 | 2 | — 6 | — 7 | — 6 | —27 | 2 | 20 | 18 | 2 |
| 1908 | —23 | —21 | 23 | 2 | —11 | — 5 | 9 | —13 | 0 | 13 | —12 | 11 |
| Monatliches Mittel | —11 | 3 | 14 | 12 | 15 | 2 | — 6 | — 12 | — 5 | — 5 | —18 | — 1 |

Tab. 30 berechneten Werte des Korrelationsfaktors r und seines mittleren Fehlers der verschiedenen Solenoidefelder und Ströme. Die Tabelle enthält zugleich die mittleren Abweichungen $\sigma_u$ und $\sigma_v$ des Stroms und Solenoidefeldes, sowie das Verhältnis $\frac{r}{\sigma_r}$.

*Tabel 30.*

| Strom u | Solenoidefeld v | $\sigma_u$ | $\sigma_v$ | r | $\sigma_r$ | $\frac{r}{\sigma_r}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Skagens Rev | Læsø Rende—Skagens Rev { 0—11 m / 0—10 m } | 22 | 9 | 0,40 | 0,07 | 6 |
| Læsø Rende | » » | 14 | 9 | 0,60 | 0,05 | 12 |
| Skagens Rev | Læsø Rende—Skagens Rev 0—21 m | 22 | 12 | 0,49 | 0,06 | 8 |
| Læsø Rende | » » | 14 | 12 | 0,60 | 0,05 | 12 |
| Skagens Rev | Læsø Trindel—Skagens Rev { 0—11 m / 0—10 m } | 22 | 15 | 0,36 | 0,07 | 5 |
| Læsø Trindel | » » | 12 | 15 | 0,51 | 0,06 | 8 |
| Kobbergrunden | Anholt Knob—Kobbergrunden 0—17 m | 5 | 15 | —0,05 | 0,09 | — 1 |
| Anholt Knob | » » | 11 | 15 | —0,21 | 0,08 | — 3 |
| Anholt Knob | Schultz's Grund - Anholt Knob { 0—11 m / 0—10 m } | 11 | 9 | 0,08 | 0,08 | 1 |
| Schultz's Grund | » » | 15 | 9 | 0,23 | 0,08 | 3 |
| Anholt Knob | Schultz's Grund—Anholt Knob 0—25 m | 11 | 22 | 0,35 | 0,07 | 5 |
| Schultz's Grund | » » | 15 | 22 | 0,36 | 0,07 | 5 |

Die gefundene Übereinstimmung gilt jedoch nicht vom Strom bei Anholt Knob und Kobbergrunden, mit dem Solenoidefeld zwischen diesen Feuerschiffen bis in 17 m Tiefe verglichen.

Wie man sich erinnern wird, ergab sich für die Stromverhältnisse bei diesen beiden Feuerschiffen ein besonderer Charakter (S. 36). Lässt man die Wirkung des Windes ausser acht, so bildeten die Ströme einen Wirbel nordwärtsgehender Richtung an der schwedischen Küste und südwärtsgehender Richtung, was den Strom bei Kobbergrunden—Anholt Knob betrifft.

Wenn man auch dem negativen Vorzeichen des Korrelationsfaktors keine entscheidende Bedeutung beimessen kann, darf man vielleicht doch einen Zusammenhang mit dem erwähnten Stromwirbel vermuten.

Sehen wir endlich ab von der geringen Bedeutung, die das Solenoidefeld Schultz's Grund—Anholt Knob bis in 10—11 m Tiefe hat, so ist der gefundene Zusammenhang gut, wenn man zu dessen Feststellung verlangt, dass das Verhältnis zwischen r und $\sigma_r$ nur grösser als 3 sein soll.

Am stärksten zeigt sich der Zusammenhang zwischen dem Strom bei Læsø Rende und dem Solenoidefeld Læsø Rende — Skagens Rev, gleichgültig ob man bis in 10—11 oder 21 m Tiefe rechnet.

Ein ähnliches Verhältnis ergab sich durch den Vergleich zwischen den periodischen Schwankungen des Stroms bei Læsø Rende und den periodischen Schwankungen des Solenoidefeldes Læsø-Rende—Skagens Rev, sowohl bis in 10—11 m als bis in 21 m Tiefe (Tab. 27).

Darf man nun den gefundenen Zusammenhang zwischen den aperiodischen Veränderungen des Stroms und Solenoidefeldes als für die meisten Orte des Kattegat festgestellt betrachten, so kann man diesen Zusammenhang daraus erklären, dass die Strömungen — vielleicht in Verbindung mit anderen Ursachen — die Solenoidefelder verändern, und diese Erklärung muss als die natürliche angesehen werden eben wegen des aperiodischen Charakters der Veränderungen, da aber die Strömungen in so hohem Grade dem Winde ihren Ursprung verdanken, so schliessen wir, dass der Wind in letzter Instanz bei der Veränderung der Solenoidefelder im Kattegat jedenfalls ein wesentlich mitwirkender Faktor ist.

Da wir ferner gesehen haben, dass der Teil des Oberflächenstroms, der nicht als direkt vom Winde herrührend betrachtet werden konnte, jedenfalls zum wesentlichen Teil seine Erklärung in der Wirkung der Solenoidefelder hat, liegt es nahe anzunehmen, dass die Wirkung des Windes

auf den Strom ausser von der oben erwähnten primären Art auch sekundärer Art ist, indem durch seine Wirkung im Meere Kraftfelder entstehen, für welche die Auslösung der Energie sich über längere Zeit erstreckt und dadurch den einfachen Zusammenhang zwischen Wind und Strom kompliziert.

Der derart gefundene Zusammenhang zwischen Solenoidefeld und Strom zeigt also, dass die Schwankung der beiden gleichzeitig ist, aber der eingentliche Kausalitätszusammenhang ist dadurch nicht gegeben; von wesentlicher Bedeutung für die nähere Erklärung desselben ist, dass der Korrelationsfaktor positiv ist in bei weitem den meisten Fällen für den Zusammenhang zwischen dem Oberflächenstrom und dem Solenoidefeld, das Oberflächenstrom von derselben Richtung wie die vorhandene ergeben wird.

Man kann daher annehmen, dass es ein Teil des vom Winde erzeugten Stroms ist, der im hervorgerufenen Solenoidefeld aufgespart wird, um später ausgelöst zu werden, während also durch das Feld keine Gegenkraft gebildet wird, die den vom Wind erzeugten Strom schwächen kann; eine solche Gegenkraft würde nämlich in einen Strom ausgelöst werden, der dem sie erzeugenden entgegengesetzt sein würde, und wenn dies der Fall wäre, so müssten wir erwarten, einen negativen Korrelationsfaktor zu finden.

Man muss deshalb annehmen, dass über Dänemark und den angrenzenden Meeres- und Landgebieten z. B. östliche Winde teils direkt einen auswärtsgehenden Strom erzeugen, teils den Oberflächensalzgehalt im südlichen Kattegat zum Sinken bringen werden, was wiederum einen Strom derselben Richtung ergeben wird.

Umgekehrt werden westliche Winde teils einen direkt einwärtsgehenden Strom ergeben, teils wird das Wasser geringeren Salzgehalts im Kattegat zurückgetrieben werden, so dass das Solenoidefeld, das auswärtsgehenden Strom ergibt, weniger kräftig wird.

Zusammenhang zwischen Strom und Solenoidefeld in zwei aufeinanderfolgenden Monaten

Interessant ist in dieser Verbindung die der Tab. 30 analoge Zusammenstellung teils des monatlichen Wertes des Stroms im Verhältnis zum Solenoidefeld in dem vorhergehenden Monat, teils die umgekehrte Kombination mit dem monatlichen Wert des Solenoidefeldes im Verhältnis zum Strom im vorhergehenden Monat.

*Tabelle 31 a.*

Die Abweichung des Stroms vom normalen in einem Monat, verglichen mit der Abweichung des Solenoidefeldes vom normalen im vorhergehenden Monat.

| Strom u | Solenoidefeld v | | $\sigma_u$ | $\sigma_v$ | r | $\sigma_r$ | $\frac{r}{\sigma_r}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Læsø Rende | Læsø Rende—Skagens Rev | 0—21 | 14 | 12 | 0,02 | 0,08 | 0 |
| Schultz's Grund | Schultz's Grund—Anholt Knob | 0—25 | 15 | 22 | —0,02 | 0,08 | 0 |
| Anholt Knob | Anholt Knob—Kobbergrunden | 0—17 | 11 | 15 | 0,16 | 0,09 | 2 |

*Tabelle 31 b.*

Die Abweichung des Solenoidefeldes vom normalen in einem Monat, verglichen mit der Abweichung des Stroms vom normalen im vorhergehenden Monat.

| Strom u | Solenoidefeld v | | $\sigma_u$ | $\sigma_v$ | r | $\sigma_r$ | $\frac{r}{\sigma_r}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Læsø Rende | Læsø Rende—Skagens Rev | 0—21 | 14 | 12 | —0,01 | 0,08 | 0 |
| Schultz's Grund | Schultz's Grund—Anholt Knob | 0—25 | 15 | 22 | —0,19 | 0,08 | —2 |
| Anholt Knob | Anholt Knob—Kobbergrunden | 0—17 | 11 | 15 | —0,01 | 0.09 | 0 |

Tab. 31 a und 31 b enthalten diese Zusammenstellung in betreff einiger Ströme und Felder. In den meisten Fällen ist kein Zusammenhang vorhanden; der grösste Wert des Korrelationsfaktors in den betrachteten Fällen findet sich beim Solenoidefeld Schultz's Grund—Anholt Knob 0—25 m und dem Strom bei Schultz's Grund aus dem vorhergehenden Monat. Der Korrelationsfaktor ist hier negativ; wenn man ihm überhaupt eine Bedeutung beimessen will, so muss es also dies sein, dass der Strom in diesem Meeresgebiete die Neigung hat, ein Kraftfeld zu erzeugen, das imstande ist, den es erzeugenden Strom zu bekämpfen.

Der andere Fall, wo der Korrelationsfaktor nicht ganz verschwindend ist, ist der des Stroms bei Anholt Knob und des Solenoidefeldes Anholt Knob—Kobbergrunden 0—17 m aus dem vorhergehenden Monat. Der Korrelationsfaktor ist hier positiv, was also darauf deutet, dass das einmal erzeugte Solenoidefeld in diesem Meeresgebiete längere Zeit darauf hinwirken wird, einen der Richtung des Feldes entsprechenden Oberflächenstrom zu erzeugen.

Eine wie grosse oder wie kleine Bedeutung man auch einem solchen Zusammenhang beimisst, so ist es unzweifelhaft, dass der Zusammenhang zwischen Strom und Solenoidefeld in demselben Monat viel grösser ist als der Zusammenhang, bei dem einer der beiden Faktoren für den vorhergehenden Monat gilt.

## STRÖME IN DER TIEFE

Die bisher behandelten Messungen von dänischen Feuerschiffen aus geben, wie wir gesehen haben, guten Aufschluss über den Strom an der Oberfläche in dänischen Gewässern, insofern man die mehr lokalen Verhältnisse unberücksichtigt lässt. Was die Tiefe betrifft, sind wir dagegen weniger günstig gestellt; wie in der Einleitung besprochen, sind bisher nur wenig Messungen des Stroms in den tieferen Schichten angestellt worden, und unsere Kenntnisse der Bewegung dieser Wasserschichten sind so zu sagen ausschliesslich auf indirektem Wege, durch Studien von Temperatur und Salzgehaltverteilung in den verschiedenen Jahreszeiten, gewonnen worden.

In gewissen Beziehungen vermag dies indirekte Verfahren nicht nur gute Dienste zu leisten, sondern ist gar den direkten Strommessungen vorzuziehen, indem es dabei möglich ist, sofort die mittleren Zahlen zu erhalten, die man sich sonst aus vielen einzelnen Strommessungen bilden muss.

Bei Gewässern wie den dänischen, übrigens wohl auch bei den meisten anderen Gewässern, ist es eine Notwendigkeit, dass die Anzahl von Strombeobachtungen gross ist, wenn die Untersuchung von Erfolg sein soll. Der mittlere Fehler, der von den natürlichen Umständen herrührt, über die man sich keine Auskunft verschaffen kann, muss durch viele Beobachtungen herabgebracht werden, indem man mittlere Zahlen bildet; etwas lässt sich gewiss auch durch verbesserte Methoden erreichen, wodurch jedoch nur dem Teil des mittleren Fehlers abgeholfen wird, der von der Unvollkommenheit der Methode herrührt; was man aber unter »vielen« Beobachtungen verstehen soll, hängt von den Verhältnissen ab; es wird aber z. B. wahrscheinlich nicht zweckmässig sein, die Stromuntersuchung auf weniger als 8—14 Tage zu beschränken, und die Messungen müssen häufig stattfinden z. B. 6—24 mal täglich.

Danach wird es verständlich sein, dass es möglich ist, die Bewegung des Wassers mit viel geringerer Mühe aus Temperatur- und Salzgehaltschwankungen zu bestimmen als durch direkte Strommessungen, aber andererseits haben dann die gewonnenen Aufschlüsse über die Stromverhältnisse gewöhnlich eine

generalisierte Form, und der von den verschiedenen zufälligen Umständen herrührenden Unsicherheit entledigt man sich auch keineswegs durch dies Verfahren.

Die durch das Studium der Stromverhältnisse nach der indirekten Methode gewonnenen Ergebnisse wurden in der Einleitung besprochen. Gleichfalls wurden die direkten Strommessungen, die 1909 im Grossen Belt vom dänischen Untersuchungsschiff »Thor« ausgeführt wurden, sowie die von schwedischer Seite ausgeführten Messungen besprochen.

Direkte Messungen des Stroms bei Lappegrunden, Schultz's Grund und Anholt Knob

In den späteren Jahren sind von den Feuerschiffen bei Lappegrunden, Schultz's Grund und Anholt Knob aus Untersuchungen über den Strom in der Tiefe angestellt worden als Glied der Untersuchungen, welche von der hydrographischen Abteilung der dänischen Meeresuntersuchungen unternommen werden.

Die Messungen wurden ausgeführt mit Libellenstrommesser jede vierte Stunde, vom Feuerschiff bei Lappegrunden aus in den Tiefen $2^1/_2$, 5, 10, 15, 20 und 23 m, bei dem von Schultz's Grund und Anholt Knob in den Tiefen $2^1/_2$, 5, 10, 15, 20 und 25 m.

Die Messungen von Lappegrunden und Anholt Knob erstrecken sich bzw. über die Perioden $^1/_9$—$^{22}/_{11}$ 1909 und $^{17}/_6$—$^{16}/_9$ 1910. Die Messungen bei Schultz's Grund begannen am $^3/_3$ 1910 und werden seitdem ununterbrochen fortgezetzt.

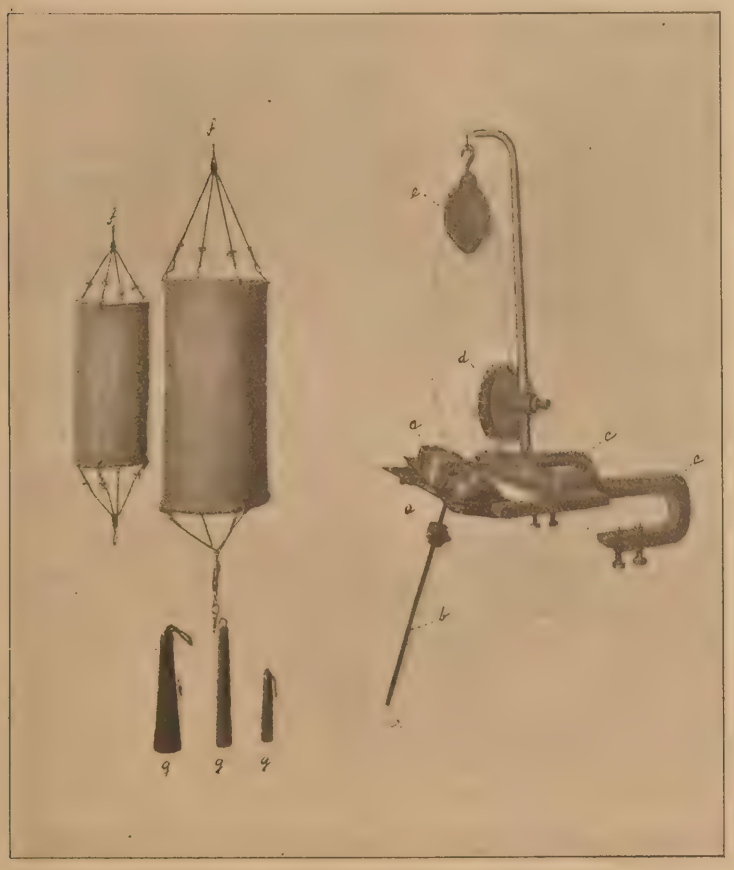



Fig. 7.

Der Libellenstrommesser

Zur Erläuterung des Verfahrens dieser Messungen führe ich hier eine kurze Beschreibung des Libellenstrommessers und seiner Anwendung an. Eine ausführlichere Beschreibung habe ich bereits früher veröffentlicht[1]).

Der Apparat ist Fig. 7 abgebildet. Er kann mittels der Schraubenzwinger cc an der Reling des Schiffes festgespannt werden. Die beiden Dosenlibellen aa sind an einer Platte angebracht, die in einer Cardanischen Aufhängevorrichtung mit den festen Teilen des Apparates verbunden ist. Von den beiden Achsen der Aufhängevorrichtung ist die eine der Symmetrieebene des Schiffes parallel, die andere liegt in einer darauf winkelrechten Ebene. Von der Handwinde d führt eine dünne Leine über das Meterrad e durch eine Röhre b hinab, die winkelrecht auf die Platte der Dosenlibellen befestigt ist. An der Leine kann ein mit einem Lot g belasteter Zylinder f befestigt werden.

Auf dem Glas der Dosenlibellen sind konzentrische Kreise gezeichnet, wodurch Neigungen von 5°, 10° u. s. w. gemessen werden können. Die Einteilungen der einen Dosen gehen bis zu 30°, die der andern bis zu 20°. Ausser den konzentrischen Kreisen sind an den Gläsern Teilstriche angebracht, die den Winkel angeben, den eine vertikale Ebene durch das Zentrum und die Blase mit der Symmetrieebene des Schiffes bilden. Die Bestimmung dieses Winkels ist dadurch erleichtert, dass sich über dem Glas der Libelle ein ebenes Glas und zwischen diesem und dem bewölbten Glas der Libelle Flüssigkeit und eine Blase finden; das ebene Glas ist wagerecht, wenn die Libellenblase auf 0 steht, und eine noch so geringe

[1]) Publications de circonstance No. 51. København 1910.

Neigung wird somit die Blase unter dem ebenen Glas zur Seite bewegen. Durch den Schiffskompass kann die Richtung der Symmetrieebene des Schiffes bestimmt werden, und man ist also imstande, sowohl die Neigung der Libellendosen als den Azimut zu bestimmen, in dem die Neigung stattfindet. Beim Gebrauch des Apparats senkt man den einen der Zylinder durch angemessene Belastung bis in die Tiefe, in der der Strom gemessen werden soll; dann wird der Strom bewirken, dass die Leine sich schräge stellt, und ihre Abweichung von der vertikalen Richtung und der Azimut, in dem die Abweichung statt findet, werden aus den Stellungen der Blasen in den Libellendosen bestimmt; die beiden Dosen sind berechnet bzw. zur Messung von grossen und kleinen Abweichungen von der vertikalen Richtung.

Um den Zylinder in die rechte Tiefe hinabzubringen, muss man die schräge Stellung der Leine berücksichtigen und berechnen, wie viel von der Leine ausgesteckt werden soll.

Um die Angaben des Apparats zur Strombestimmung zu benutzen, muss man auf empirischem Wege zusammengehörige Werte des Stroms und der Ausschläge der Libellen bestimmen und daraus Tabellen herstellen. Eine Reihe derartiger Konstantenbestimmungen wurde angestellt während des Aufenthalts des S/S Thor im Langelandsbelt im Juni 1909, indem der Strom mittels Ekmans Strommesser bestimmt wurde, dessen Angaben auf anderem Wege kontrolliert worden waren. Auf Grund dieser Messungen wurden die Tabellen der angeführten Abhandlung berechnet.

Bei der Aufstellung solcher Tabellen gibt es indessen namentlich zwei Umstände, die die Sache bedeutend komplizieren. Der eine ist, dass es nicht möglich ist, eine so dünne Leine anzuwenden, dass man ganz von der Wirkung absehen kann, die der Strom in den oberen Schichten auf die Leine ausübt; der zweite, dass man, von der Wirkung des Stroms auf die Leine abgesehen, nicht davon ausgehen kann dass derselbe Strom immer dieselbe schräge Leinenstellung ergeben wird; die Kraft, mit der der Strom auf den Zylinder wirkt, wird nämlich vom spezifischen Gewicht des Wassers und der inneren Reibung des Wassers abhängen, und während ersteres ungefähr konstant ist, kann letztere stark nach Salzgehalt und Temperatur schwanken.

Die Biegung der Leine durch den Strom in den darüberliegenden Schichten habe ich in der oben angeführten Abhandlung ausführlich erörtert, und ich habe daselbst eine graphische Methode angegeben, mittels welcher man imstande ist, die Angaben des Apparats mit hinlänglicher Genauigkeit und dabei mit so geringer Mühe zu korrigieren, dass die Behandlung eines grösseren Materials nicht aus dem Grunde besonders weitläufig wird; dagegen sind die Tabellen über den Zusammenhang zwischen den Angaben des Apparats und der Stärke des Stroms wegen des Einflusses der inneren Reibung etwas unvollkommen, indem ich nicht die Gelegenheit hatte, denselben bei den Konstantenbestimmungen im Juni 1909 zu kontrollieren. Später habe ich in zwei verschiedenen Weisen zu erfahren gesucht, von welcher Grössenordnung der Einfluss der inneren Reibung ist.

Das eine Verfahren bestand in einer Bestimmung des Zusammenhanges zwischen den Angaben des Apparats und der Stärke des Stroms unter verschiedenen Verhältnissen, namentlich bei verschiedenen Temperaturen. Die diesbezüglichen Versuche wurden auf der Marinewerft angestellt, und ich bin dem Werftschef Kontreadmiral Zachariae, sowie der Leitung der 1. Abteilung des Seeminenkorps, namentlich Kapitän Rothe und Leutnant Ulrichsen vielen Dank schuldig, indem mir durch die Vermittlung des Direktors des Hydrographischen Laboratoriums Professor Martin Knudsen sowohl Material als Mannschaft zur Verfügung gestellt wurde.

Bei den Versuchen wurde ein Boot bei konstanter Geschwindigkeit durch das Wasser gezogen, indem sowohl diese als die Angabe des Apparats beobachtet wurde; es war die Absicht, nicht nur ins reine zu bringen, welchen Einfluss die innere Reibung des Wassers hat, sondern auch Tabellen für neue Zylinder aufzustellen, die sich besser für die praktische Anwendung eigneten als die alten.

Die Versuche fanden statt zu drei verschiedenen Zeiten des Jahres, wo die Temperatur des Wassers bzw. ca. $3^0$, $12^0$ und $19^0$ war. Die Resultate sind noch nicht veröffentlicht worden, da ich sie nicht als endgültig zur Aufstellung der Tabellen für die neuen Zylinder gebräuchlich betrachte; was den Einfluss

der inneren Reibung betrifft, hat es sich gezeigt, dass die Schwankung der Stromstärke bei demselben Ausschlag des Apparats unter den verschiedenen Verhältnissen ca. 10 % betrug; es ergaben sich aber Schwierigkeiten, die sich zur Zeit schwerlich erklären lassen.

Das andere Verfahren zur Erkenntnis des Einflusses der inneren Reibung beruht auf den Strommessungen, die im Laufe der oben angeführten Zeit von Schultz's Grund aus mit dem Libellenstrommesser ausgeführt wurden, und die nach den im Juni gefundenen Konstanten berechnet wurden. Von diesen Messungen wurde die Gezeitenperiode $M_2$ für 4 Teile des Jahres berechnet, wie aus Tab. 32 erhellt. Man sieht, dass weder Amplitude noch Phase zu den verschiedenen Zeiten des Jahres sehr verschieden ist. Dass die innere Reibung einen merkbaren Einfluss auf die Amplitude des Stroms an der Oberfläche ausübt, ist nach dem, was später über dies Verhältnis mitgeteilt werden wird, wenig wahrscheinlich, und wenn Amplitude und Phase so ziemlich dieselben sind, darf man schliessen, dass der Apparat sich bei demselben Strom zu den verschiedenen Jahreszeiten so ziemlich gleich verhalten hat.

Was die durch den Libellenstrommesser zu erzielende Genauigkeit betrifft, soll nur noch bemerkt werden, dass sie bei zunehmender Stromstärke stark zunimmt, wie aus den Tabellen der angeführten Abhandlung leicht ersichtlich ist.

Bei den sehr schwachen Strömen ist die Energie im Wasser nur gering, und man könnte kaum eine Amplitude von ca. 10 cm/sec mit der Genauigkeit der Amplituden von Tab. 32 bestimmen, wenn man immer Ströme dieser Grössenordnung zu messen hätte. Da indessen Stromstille sehr selten vorkommt, wird sich die Amplitude des Gezeitenstroms als Differenz zwischen Strömen von numerisch grösseren Werten bestimmen lassen.

*Tabelle 32.* Amplitude und Phase der Hauptkomponenten des Stroms beim Feuerschiff Schultz's Grund für die Mondperiode $M_2$. Das Gesamtmaterial eines Jahres ist den angegebenen Monaten gemäss in 4 Teile geteilt, und die Konstanten sind für jede Abteilung für sich berechnet; als positiv ist die Richtung des Stroms nach dem Kattegat betrachtet.

| Tiefe | März, April, Mai | | Juni, Juli, August | | September, Oktober, November | | Dezember, Januar, Februar | | Mittel | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Meter | R | $\varkappa$ | R | $\varkappa$ | R | $\varkappa$ | R | $\varkappa$ | R | $\varkappa$ |
| $2^1/_2$ | 11,1 | 107 | 10,6 | 89 | 11,9 | 91 | 10,7 | 85 | 11,1 | 93 |
| 5 | 10,6 | 100 | 10,8 | 78 | 11,0 | 83 | 12,9 | 88 | 11,3 | 87 |
| 10 | 9,5 | 90 | 12,0 | 82 | 11,3 | 75 | 10,9 | 76 | 10,9 | 81 |
| 15 | 7,1 | 72 | 11,2 | 87 | 10,0 | 72 | 7,9 | 72 | 9,0 | 76 |
| 20 | 9,1 | 75 | 11,4 | 86 | 7,4 | 71 | 6,7 | 59 | 8,6 | 73 |
| 25 | 8,1 | 79 | 10,2 | 80 | 5,6 | 68 | 5,4 | 45 | 7,3 | 68 |

Im folgenden behandle ich die Messungen von Lappegrunden und Anholt Knob, sowie diejenigen Messungen von Schultz's Grund, welche vom $^1/_3$ 1910—$^{28}/_2$ 1911 ausgeführt wurden.

Die Messungen vom Feuerschiff bei Lappegrunden aus wurden teilweise angestellt, um zu untersuchen, inwiefern sich der Libellenstrommesser von Feuerschiffen aus anwenden lässt, und da das Gewässer, in dem das Feuerschiff liegt, so beschaffen ist, dass sich dort sozusagen nur zwei Stromrichtungen finden, nämlich entweder S 30 O oder N 30 W, rechnen wir im folgenden nur mit den Projektionen der beobachteten Ströme auf diese Richtungen.

Die mittleren Werte der derart berechneten Ströme in der angeführten Periode sind in Tab. 33 für die verschiedenen Tiefen angeführt, indem die positive Richtung gegen das Kattegat gerechnet wurde.

*Tabelle 33.* Strom beim Feuerschiff von Lappegrunden in $^{cm}/_{sec}$; Ströme mit Richtung gegen das Kattegat sind als positiv betrachtet.

| Tiefe in Metern . . | $2^1/_2$ | 5 | 10 | 15 | 20 | 23 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Strom $^{cm}/_{sec}$ . . . . | 29,9 | 19,0 | — 11,5 | — 15,4 | — 13,6 | — 11,0 |

Bei den Feuerschiffen von Schultz's Grund und Anholt Knob lässt ein so einfaches Verfahren sich nicht anwenden, da die Stromrichtungen hier verschiedenartiger sind als bei Lappegrunden.

Relative Häufigkeit des Stroms verschiedener Richtungen bei Schultz's Grund und Anholt Knob

Die Tabellen 34 und 35 enthalten eine Übersicht über den mittleren Wert der Stromhäufigkeit und Stromstärke verschiedener Richtungen bzw. bei Schultz's Grund und Anholt Knob; die ganze Kompassrose wurde in 36 Sektoren geteilt, deren relative Stromhäufigkeit in ‰ und deren mittlere Stromstärke

*Tabelle 34.* Relative Haüfigkeit und mittlere Stärke der Ströme nach verschiedenen Richtungen beim Feuerschiffe Schultz's Grund.

Die Messungen sind in der Zeit von 1/8 1910 bis 1/8 1911 in den angeführten Tiefen jede vierte Stunde des Tages angestellt.

**Relative Häufigkeit in ‰.**

| Tiefe Meter | S | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | W | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | N | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | O | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2½ | 7 | 9 | 13 | 16 | 29 | 32 | 34 | **44** | **51** | **47** | 33 | 36 | 37 | 23 | 34 | 32 | 38 | 36 | 39 | **66** | **81** | **76** | **68** | **40** | 22 | 14 | 6 | 4 | 5 | 5 | 3 | 2 | 2 | 6 | 5 | 5 |
| 5 | 7 | 6 | 10 | 15 | 23 | 29 | **44** | **51** | **60** | **55** | 38 | **43** | 39 | 30 | 34 | 30 | 32 | 30 | **47** | **54** | **74** | **70** | **65** | **44** | 23 | 10 | 7 | 5 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0 | 4 | 7 | 4 |
| 10 | 4 | 3 | 7 | 16 | 20 | **42** | **55** | **78** | **83** | **68** | **60** | **51** | **43** | 29 | 26 | 24 | 25 | 17 | 30 | 37 | **42** | **54** | **55** | **43** | 27 | 16 | 12 | 5 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 5 | 3 | 3 |
| 15 | 4 | 7 | 7 | 21 | 32 | **74** | **127** | **133** | **105** | **76** | **48** | 28 | 15 | 11 | 13 | 10 | 9 | 9 | 15 | 10 | 15 | 38 | 36 | **50** | 34 | 27 | 17 | 8 | 2 | 3 | 2 | 0 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| 20 | 7 | 9 | 17 | 20 | **55** | **106** | **168** | **149** | **94** | **45** | 26 | 16 | 12 | 7 | 7 | 8 | 7 | 6 | 11 | 11 | 11 | 25 | 22 | **44** | **44** | 27 | 8 | 11 | 3 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 25 | 10 | 13 | 26 | 35 | **63** | **109** | **153** | **134** | **92** | 37 | 21 | 17 | 12 | 6 | 7 | 8 | 8 | 5 | 9 | 9 | 13 | 16 | 26 | 35 | 36 | 28 | 14 | 13 | 6 | 5 | 3 | 6 | 4 | 4 | 3 | 6 |

**Mittlere Stärke in cm/sec.**

| Tiefe Meter | S | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | W | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | N | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | O | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2½ | 22 | 27 | 26 | 30 | 34 | 31 | **37** | **36** | **35** | **36** | **36** | 33 | 30 | 33 | 29 | 30 | 34 | **36** | **41** | **44** | **47** | **48** | **44** | **38** | **37** | 31 | 25 | 20 | 22 | 27 | 25 | 33 | 24 | 22 | 26 | 33 |
| 5 | 21 | 19 | 26 | 27 | 32 | 34 | **36** | **37** | **37** | **38** | **35** | 32 | 31 | 28 | 28 | 30 | 32 | 32 | **36** | **39** | **43** | **49** | **45** | **42** | **41** | **37** | 33 | 23 | 15 | 18 | 17 | 27 | **43** | 24 | 31 | 22 |
| 10 | 25 | 20 | 23 | 30 | 33 | **35** | **35** | **37** | **38** | **37** | 34 | 32 | 29 | 27 | 27 | 26 | 23 | 25 | 25 | 27 | 31 | **36** | 34 | 34 | **36** | 30 | 24 | 33 | 21 | 12 | 16 | 26 | 11 | 23 | 22 | 16 |
| 15 | 22 | 17 | 24 | 29 | 32 | **36** | **38** | **39** | **39** | 34 | 29 | 28 | 25 | 22 | 16 | 15 | 17 | 21 | 18 | 19 | 17 | 23 | 24 | 29 | 33 | 25 | 25 | 25 | 16 | 12 | 19 | 8 | 15 | 14 | 14 | 21 |
| 20 | 33 | 18 | 19 | 23 | 28 | 32 | **36** | 34 | **35** | 32 | 24 | 20 | 18 | 20 | 16 | 20 | 15 | 15 | 16 | 16 | 14 | 19 | 20 | 25 | 27 | 26 | 20 | 20 | 15 | 12 | 16 | 16 | 14 | 16 | 11 | 16 |
| 25 | 18 | 16 | 18 | 20 | 24 | 27 | 29 | 28 | 28 | 23 | 16 | 17 | 17 | 19 | 17 | 24 | 14 | 16 | 15 | 15 | 17 | 14 | 19 | 18 | 21 | 20 | 17 | 17 | 14 | 14 | 15 | 12 | 12 | 21 | 11 | 14 |

*Tabelle 35.* Relative Häufigkeit und mittlere Stärke der Ströme nach verschiedenen Richtungen beim Feuerschiffe Anholt Knob.

Die Messungen sind in der Zeit von 21/6 bis 16/9 1910 in den angeführten Tiefen jede vierte Stunde des Tages angestellt.

**Relative Häufigkeit in ‰.**

| Tiefe Meter | S | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | W | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | N | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | O | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2½ | 6 | 4 | 17 | 15 | 4 | 4 | 6 | 4 | 6 | 8 | 2 | 10 | 10 | 17 | 11 | 21 | 21 | **42** | **67** | 34 | **52** | **63** | **59** | **44** | **54** | **55** | **55** | **55** | **42** | **44** | **46** | **50** | 33 | 19 | 10 | 11 |
| 5 | 8 | 6 | 17 | 8 | 6 | 8 | 8 | 6 | 2 | 2 | 6 | 11 | 8 | 10 | 6 | 21 | 19 | **42** | **48** | 38 | **63** | **48** | **46** | **51** | **46** | **61** | **57** | **46** | **44** | **40** | **40** | **40** | **51** | **51** | 25 | 17 |
| 10 | 15 | 13 | 15 | 6 | 4 | 2 | 0 | 4 | 4 | 4 | 23 | 11 | 6 | 15 | 11 | 19 | 15 | 30 | 32 | 32 | 36 | **50** | **42** | 34 | **61** | **57** | **51** | **48** | **48** | **40** | **65** | **55** | **51** | 34 | **40** | 25 |
| 15 | 15 | 10 | 10 | 10 | 4 | 0 | 10 | 4 | 6 | 4 | 4 | 6 | 0 | 2 | 13 | 19 | 19 | 25 | 23 | 25 | **40** | **40** | **46** | **44** | **40** | **46** | **44** | **67** | **67** | **61** | **59** | **68** | **70** | **49** | 25 | 30 |
| 20 | 34 | 15 | 13 | 8 | 6 | 4 | 6 | 2 | 2 | 9 | 0 | 8 | 8 | 9 | 8 | 17 | 13 | 30 | **42** | 36 | **40** | **44** | **47** | 38 | 36 | 36 | 32 | 28 | **40** | **59** | **70** | **57** | **68** | **42** | **57** | 36 |
| 25 | 27 | 27 | 6 | 13 | 10 | 10 | 6 | 6 | 2 | 8 | 13 | 10 | 4 | 11 | 19 | 17 | 11 | 38 | 38 | 30 | 34 | 32 | 38 | **44** | **44** | 38 | 25 | 36 | 38 | **48** | **65** | **48** | **55** | **63** | **49** | **40** |

**Mittlere Stärke in cm/sec.**

| Tiefe Meter | S | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | W | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | N | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | O | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2½ | 21 | 27 | 34 | 17 | 31 | 13 | 12 | 33 | 32 | 21 | 6 | 13 | 24 | 23 | 21 | 21 | 23 | 28 | 31 | 27 | 25 | 23 | 28 | 22 | 27 | 28 | 23 | 31 | 31 | 31 | 33 | **37** | 27 | 24 | **37** | 15 |
| 5 | **38** | 21 | 30 | 24 | 18 | 20 | 21 | 17 | 7 | 19 | 27 | 13 | 22 | 25 | 24 | 32 | 19 | 21 | 24 | 22 | 27 | 30 | 28 | 26 | 24 | 26 | 28 | 25 | 28 | 33 | 31 | **40** | **38** | **45** | **36** | 34 |
| 10 | 30 | **37** | 23 | 10 | 21 | 23 | | 32 | 15 | 15 | 15 | 19 | 13 | 18 | 18 | 21 | 24 | 26 | 20 | 24 | 22 | 22 | 20 | 19 | 17 | 24 | 26 | 21 | 22 | 27 | 25 | 31 | **35** | **36** | 28 | 27 |
| 15 | 22 | 28 | 16 | 16 | 13 | | 24 | 11 | 11 | 11 | 13 | 14 | | 11 | 14 | 24 | 14 | 18 | 19 | 16 | 18 | 18 | 17 | 20 | 23 | 19 | 21 | 23 | 20 | 21 | 27 | 21 | 24 | 23 | 30 | 19 |
| 20 | 19 | 26 | 25 | 28 | 6 | 11 | 11 | 13 | 27 | 10 | | 9 | 10 | 13 | 8 | 13 | 18 | 15 | 15 | 18 | 20 | 14 | 18 | 18 | 17 | 20 | 19 | 16 | 21 | 20 | 20 | 21 | 22 | 21 | 25 | 19 |
| 25 | 16 | 16 | 21 | 9 | 16 | 15 | 13 | 12 | 6 | 12 | 10 | 6 | 6 | 7 | 11 | 15 | 28 | 20 | 17 | 13 | 14 | 18 | 12 | 13 | 12 | 15 | 17 | 14 | 17 | 18 | 19 | 17 | 21 | 23 | 22 | 20 |

in cm/sec angegeben sind; die mittleren Zahlen von Schultz's Grund beruhen auf Beobachtungen aus einem ganzen Jahre, insgesamt ca. 13,000 Messungen; die Gesamtanzahl der Messungen von Anholt Knob beträgt ca. 3000. Die Feuerschiffe liegen auf bzw. 26 m und 28 m Wasser.

Diejenigen Stromhäufigkeiten von Schultz's Grund, die bei einem Sektor von 10° 40 ‰ oder mehr betragen, und die mittleren Stromstärken eines Sektors, die 35 cm/sec oder mehr betragen, sind in Tab. 34 mit fetten Lettern gedruckt; man sieht sogleich, dass die Ströme sich, wenn sie auch in allen Sektoren vorkommen und man im allgemeinen den Strom keiner Richtung als ganz verschwindend bezeichnen darf, doch in zwei Haupgruppen teilen: die einwärtsgehenden Ströme, die nach Richtungen in der Nähe von West laufen, und die auswärtsgehenden, die nach Richtungen in der Nähe von Nordost laufen.

*Tabelle 36.* Mittlerer Wert der auswärtsgehenden und der einwärtsgehenden Wasserbewegung pr. Sekunde bei *Schultz's Grund.*

Die Richtung ist rechtweisend; die Bewegung ist in cm ausgedrückt.
Die auswärtsgehenden Ströme jedes Monats sind geometrisch addiert, und ihre geometrische Summe ist durch die Gesamtanzahl von Beobachtungen dividiert. Dadurch sind die unter *ausw.* angeführten mittleren Zahlen der auswärtsgehenden Wasserbewegung ermittelt worden. In ähnlicher Weise sind die unter *einw.* angeführten Zahlen der einwärtsgehenden Wasserbewegung ermittelt worden. Die Grenzen zwischen aus- und einwärtsgehendem Strom sind als N 20 W und S 30 O angesetzt.

| Tiefe in Metern | März 1910 | | | April 1910 | | | Mai 1910 | | | Juni 1910 | | | Juli 1910 | | | August 1910 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. |
| 2½ | N 31 O 22,2 | S 89 W 8,1 | 14,1 | N 32 O 16,7 | S 88 W 10,7 | 6,0 | N 31 O 29,1 | N 85 W 7,5 | 21,6 | N 14 O 19,0 | W 10,9 | 8,1 | N 26 O 18,8 | N 80 W 11,2 | 7,6 | N 23 O 29,2 | N 87 W 6,2 | 23,0 |
| 5 | N 27 O 19,7 | S 80 W 9,9 | 9,8 | N 36 O 15,9 | N 87 W 14,4 | 1,5 | N 35 O 26,2 | N 78 W 7,3 | 18,9 | N 19 O 17,5 | N 86 W 13,1 | 4,4 | N 24 O 17,0 | N 76 W 12,3 | 4,7 | N 25 O 30,3 | N 88 W 7,1 | 23,2 |
| 10 | N 35 O 9,6 | N 87 W 18,0 | ÷8,4 | N 32 O 10,3 | W 17,0 | ÷6,7 | N 43 O 17,3 | N 86 W 10,3 | 7,0 | N 32 O 7,3 | S 87 W 15,6 | ÷8,3 | N 32 O 11,2 | N 76 W 13,0 | ÷1,8 | N 34 O 14,2 | N 86 W 9,3 | 4,9 |
| 15 | N 56 O 4,9 | S 77 W 21,4 | ÷16,5 | N 50 O 3,2 | S 72 W 23,8 | ÷20,6 | N 54 O 6,7 | S 82 W 17,0 | ÷10,3 | N 53 O 5,7 | S 72 W 20,6 | ÷14,9 | N 52 O 8,5 | S 75 W 14,2 | ÷5,7 | N 49 O 5,7 | S 71 W 16,6 | ÷10,9 |
| 20 | N 56 O 3,3 | S 69 W 21,2 | ÷17,9 | N 63 O 2,3 | S 68 W 22,8 | ÷20,5 | N 56 O 5,1 | S 73 W 17,6 | ÷12,5 | N 52 O 4,2 | S 68 W 19,1 | ÷14,9 | N 60 O 6,6 | S 70 W 14,7 | ÷8,1 | N 53 O 5,2 | S 67 W 16,4 | ÷11,2 |
| 25 | N 59 O 2,4 | S 69 W 16,7 | ÷14,3 | N 60 O 2,4 | S 68 W 19,1 | ÷16,7 | N 59 O 4,1 | S 69 W 15,5 | ÷11,4 | N 58 O 3,5 | S 66 W 15,6 | ÷12,1 | N 55 O 5,4 | S 65 W 12,6 | ÷7,2 | N 58 O 4,0 | S 65 W 13,5 | ÷9,5 |

| Tiefe in Metern | September 1910 | | | Oktober 1910 | | | November 1910 | | | Dezember 1910 | | | Januar 1911 | | | Februar 1911 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. |
| 2½ | N 25 O 11,4 | S 89 W 15,9 | ÷4,5 | N 35 O 19,0 | N 89 W 15,0 | 4,0 | N 28 O 14,8 | N 75 W 20,3 | ÷5,5 | N 32 O 17,7 | S 82 W 14,6 | 3,1 | N 33 O 17,1 | S 82 W 15,1 | 2,0 | N 44 O 13,9 | S 76 W 17,5 | ÷3,6 |
| 5 | N 29 O 9,2 | N 86 W 17,0 | ÷7,8 | N 40 O 17,8 | N 89 W 16,5 | 1,3 | N 31 O 14,8 | N 74 W 22,2 | ÷7,4 | N 34 O 12,1 | S 85 W 17,5 | ÷5,4 | N 32 O 17,5 | S 80 W 15,9 | 1,6 | N 44 O 11,7 | S 73 W 19,9 | ÷8,2 |
| 10 | N 40 O 5,8 | N 86 W 18,3 | ÷12,5 | N 43 O 8,4 | N 85 W 22,2 | ÷13,8 | N 40 O 11,4 | N 84 W 24,9 | ÷13,5 | N 49 O 4,5 | S 76 W 26,2 | ÷21,7 | N 36 O 13,5 | S 83 W 18,1 | ÷4,6 | N 43 O 8,6 | S 79 W 22,2 | ÷13,6 |
| 15 | N 58 O 8,5 | S 73 W 20,7 | ÷12,2 | N 55 O 3,9 | S 86 W 26,8 | ÷22,9 | N 48 O 8,8 | S 85 W 28,5 | ÷19,7 | N 69 O 1,7 | S 71 W 33,5 | ÷31,8 | N 46 O 10,1 | S 78 W 23,6 | ÷13,5 | N 50 O 5,4 | S 75 W 25,6 | ÷20,2 |
| 20 | N 55 O 8,1 | S 70 W 19,6 | ÷11,5 | N 60 O 2,1 | S 74 W 24,9 | ÷22,8 | N 55 O 5,0 | S 75 W 26,8 | ÷21,8 | N 57 O 1,1 | S 67 W 31,8 | ÷30,7 | N 58 O 7,6 | S 72 W 23,9 | ÷16,3 | N 53 O 4,2 | S 68 W 23,9 | ÷19,7 |
| 25 | N 54 O 6,2 | S 71 W 15,4 | ÷9,2 | N 51 O 2,0 | S 71 W 19,4 | ÷17,4 | N 64 O 3,3 | S 70 W 22,2 | ÷18,9 | N 75 O 0,9 | S 66 W 22,2 | ÷21,3 | N 66 O 5,1 | S 64 W 19,2 | ÷14,1 | N 62 O 2,7 | S 66 W 20,3 | ÷17,6 |

Man sieht ferner, dass die Hauptrichtungen sich bei zunehmender Tiefe etwas verschieben; in den tieferen Schichten sind die einwärtsgehenden Ströme südlicher, die auswärtsgehenden östlicher als an der Oberfläche.

Die beiden Maxima von Stromhäufigkeit und Stromstärke sind durch zwei Minima, deren Lage zu N 20 W und S 30 O rechtweisend angesetzt ist, deutlich voneinander getrennt; durch diese Richtungen werden die Grenzen zwischen aus- und einwärtsgehenden Strömen definiert; für sie ist bei allen Tiefen derselbe Wert angesetzt, da eine kleine Verschiebung der Lage der Minimalwerte wegen der geringen Häufigkeiten und der schwachen Ströme in ihrer Nähe keine Rolle spielt.

Bei der früheren Behandlung des Oberflächenstroms war die Grenze zu N 11 W und S 11 O missweisend angesetzt (S. 9), also zu ungefähr den hier gefundenen Werten.

Auch bei dem Feuerschiff von Anholt Knob findet sich eine ausgeprägte Verteilung der relativen Stromhäufigkeit und der mittleren Stärke des Stroms der verschiedenen Richtungen, was aus Tab. 35 erhellt, die analog der Tabelle für Schultz's Grund aufgestellt ist, aber die Hauptrichtungen der auswärts- und einwärtsgehenden Ströme fallen hier so eng zusammen, dass die eine Grenze verwischt wird, während die Schwankung der Häufigkeit und Stromstärke bei der anderen auf einer längeren Strecke nur gering ist.

Eine gute Hilfe zur Bestimmung der Grenze, wo die Ströme am stärksten ineinander übergehen, gewähren uns die Bodenverhältnisse, indem Anholt Rev als das wesentliche, die Stromrichtung beeinflussende Moment betrachtet werden muss. Die Richtung von Anholt Rev ist missweisend W—O. Auf Grund des vorhandenen Materials und dieses Umstandes sind die Grenzen zu S 80 W und N 80 O rechtweisend angesetzt. — Die früher gefundenen Grenzen (S. 9) waren dieselben.

*Tabelle 37.* Mittlere Werte der auswärtsgehenden und der einwärtsgehenden Wasserbewegung per Sekunde bei *Schultz's Grund.*

Die Richtungen sind rechtweisend; die Bewegung ist in cm ausgedrückt.

Alle auswärtsgehenden Ströme der Periode $^1/_2$ 1910—$^1/_2$ 1911 sind geometrisch addiert und ihre geometrische Summe durch die Gesamtanzahl der Beobachtungen dividiert; dadurch sind die unter ausw. angeführten mittleren Zahlen der auswärtsgehenden Wasserbewegung ermittelt worden. In ähnlicher Weise wurden die unter einw. angeführten Zahlen der einwärtsgehenden Wasserbewegung ermittelt. Die Grenzen zwischen aus- und einwärtsgehendem Strom sind als N 20 W und S 30 O rechtweisend angesetzt.

| Tiefe Meter | ausw. | einw. | Diff. | Tiefe Meter | ausw. | einw. | Diff. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $2^1/_2$ | N 30 O 19,1 | N 88 W 12,7 | 6,4 | 15 | N 54 O 6,2 | S 77 W 22,8 | ÷16,6 |
| 5 | N 32 O 17,5 | N 89 W 14,3 | 3,2 | 20 | N 59 O 4,7 | S 70 W 22,1 | ÷17,4 |
| 10 | N 40 O 10,3 | S 89 W 17,9 | ÷7,6 | 25 | N 61 O 3,6 | S 68 W 17,8 | ÷14,2 |

Monatsmittel des Stroms in verschiedenen Tiefen bei Schultz's Grund und Anholt Knob

In den Tabb. 36 und 38 sind für jede Tiefe der aus- und einwärtsgehenden Ströme bezw. bei Schultz's Grund und Anholt Knob für die verschiedenen Monate mittlere Zahlen gebildet.

Die Behandlung war der früher besprochenen Behandlung des Oberflächenstroms analog, indem die während eines Monats beobachteten Ströme nach den oben bestimmten Grenzen in auswärtsgehende und einwärtsgehende Ströme geteilt wurden. Die Ströme jeder der beiden Teile für sich wurden sodann durch geometrische Addition zusammengesetzt; die so gefundenen Resultate wurden darauf durch die Gesamtanzahl von Strombeobachtungen dividiert, wodurch die in den Tabellen aufgeführten mittleren Zahlen hergestellt wurden. Bei der Berechnung wurden alle Ströme in Sektoren von je 10° geteilt; innerhalb desselben Sektors fallende Ströme wurden algebraisch addiert, worauf diese Summen innerhalb einer jeden der beiden Gruppen wieder geometrisch addiert wurden. Tab. 38 enthält mittlere Zahlen von zwei Monatsbruchstücken: $^{21}/_6$—$^{30}/_6$ 1910 und $^1/_9$—$^{16}/_9$ 1910.

In ähnlicher Weise wie bei der Behandlung des Oberflächenstroms sind die Monatsmittel der aus- und einwärtsgehenden Ströme arithmetisch voneinander subtrahiert; die gefundene Differenz ist als der mittlere Wert des Stroms des betreffenden Monats zu betrachten.

*Tabelle 38.* Mittlere Werte der auswärtsgehenden und der einwärtsgehenden Wasserbewegung per Sekunde bei *Anholt Knob.*

Die Richtungen sind rechtweisend, die Bewegung ist in cm ausgedrückt.

Alle auswärtsgehenden Ströme der angeführten Perioden sind geometrisch addiert, und ihre geometrische Summe ist durch die Gesamtanzahl der Beobachtungen dividiert; dadurch sind die unter *ausw.* angeführten mittleren Zahlen der auswärtsgehenden Wasserbewegung ermittelt worden. In ähnlicher Weise wurden die unter *einw.* angeführten Zahlen der einwärtsgehenden Wasserbewegung ermittelt. Die Grenze zwischen aus- und einwärtsgehendem Strom ist als S 80 W und N 80 O rechtweisend angesetzt.

**1910**

| Tiefe in Metern | 21. Juni—30. Juni | | | Juli | | | August | | | 1. Septbr.—16. Septbr. | | | 21. Juni—16. Septbr. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. | ausw. | einw. | Diff. |
| $2^1/_2$ | N 48 O 9,3 | S 73 O 23,0 | ÷13,7 | N 18 O 9,8 | S 46 O 6,4 | +3,4 | N 28 O 15,6 | S 52 O 11,9 | +3,7 | N 26 O 11,6 | S 38 O 6,2 | +5,4 | N 27 O 11,9 | S 54 O 9,9 | +2,0 |
| 5 | N 52 O 7,1 | S 53 O 28,5 | ÷21,4 | N 21 O 10,3 | S 40 O 8,5 | +1,8 | N 34 O 12,3 | S 41 O 14,7 | ÷2,4 | N 30 O 11,7 | S 41 O 6,7 | +5,0 | N 29 O 10,8 | S 45 O 12,5 | ÷1,7 |
| 10 | N 36 O 3,9 | S 47 O 21,7 | ÷17,8 | N 19 O 8,4 | S 39 O 8,4 | 0,0 | N 34 O 8,6 | S 41 O 14,8 | ÷6,2 | N 23 O 7,2 | S 58 O 6,9 | +0,3 | N 26 O 7,7 | S 43 O 11,9 | ÷4,2 |
| 15 | N 40 O 5,8 | S 41 O 9,8 | ÷4,0 | N 32 O 5,7 | S 54 O 11,3 | ÷5,6 | N 32 O 5,6 | S 44 O 14,9 | ÷9,3 | N 32 O 7,4 | S 41 O 5,1 | +2,3 | N 34 O 5,9 | S 47 O 11,2 | ÷5,3 |
| 20 | N 36 O 4,1 | S 33 O 8,8 | ÷4,7 | N 30 O 6,0 | S 43 O 10,0 | ÷4,0 | N 31 O 5,3 | S 34 O 13,7 | ÷8,4 | N 24 O 7,3 | S 21 O 4,7 | +2,6 | N 30 O 5,8 | S 36 O 10,2 | ÷4,4 |
| 25 | N 32 O 4,3 | S 33 O 7,0 | ÷2,7 | N 19 O 5,2 | S 38 O 8,8 | ÷3,6 | N 25 O 4,1 | S 32 O 11,5 | ÷7,4 | N 21 O 6,2 | S 17 O 4,6 | +1,6 | N 21 O 4,9 | S 33 O 8,7 | ÷3,8 |

Den mittleren Zahlen des Stroms in den einzelnen Monaten analog sind auch mittlere Zahlen des Stroms in der ganzen betrachteten Periode gebildet, d. h. bei Schultz's Grund vom 1. März 1910 bis 1. März 1911 und bei Anholt Knob vom 21. Juni 1910 bis 16. Sept. 1910 (Tabb. 37 und 38).

Man sieht hier besonders deutlich, wie sich die Richtungen der aus- und einwärtsgehenden Ströme bei Schultz's Grund mit der Tiefe ändern; während sie in $2^1/_2$ Meter Tiefe einen Winkel von 118° miteinander bilden, sind sie am Boden einander fast entgegensetzt, indem sie die Richtungen N 61 O—S 68 W haben, was der Form des Gewässers ganz gut entspricht; ein ähnliches Verhältnis zeigt sich in der betrachteten Periode bei Anholt Knob, aber die Drehungsrichtungen der aus- und einwärtsgehenden Ströme sind hier den Umdrehungsrichtungen von Schultz's Grund entgegengesetzt; dies beweist, dass diese Drehungen des Stroms bei zunehmender Tiefe von lokalen Verhältnissen bedingt sind.

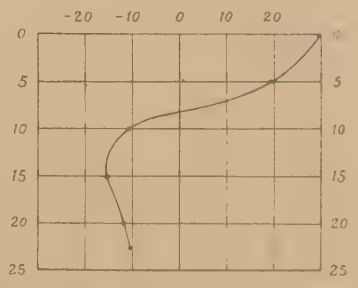



Fig 8. Mittlere Werte des Stromes beim Feuerschiff Lappegrunden in der Periode 1. Sept. 1909—22 Novbr. 1909 in den Tiefen $2^1/_2$, 5, 10, 15, 20 und 23 m. Die Zahlen über der Fig. geben den Strom in $^{cm}/_{sec}$ an; die positiven Zahlen bezeichnen auswärtsgehende Ströme (nach der Nordsee), die negativen einwärtsgehende Ströme (nach der Ostsee).

Die Veränderung der Richtung des Stroms mit der Tiefe bei Schultz's Grund ist am stärksten von 10 bis 15 Meter Tiefe, so dass das Verhältnis sicherlich so aufzufassen ist, dass die Richtungen der Ströme an der Oberfläche in einer Weise von den lokalen Verhältnissen, die Richtungen der Ströme in der Unterschicht in einer anderen Weise von den lokalen Verhältnissen bestimmt sind. Der Übergang zwischen den Strömen der Oberschicht und der Unterschicht liegt, was die einzelnen Monate betrifft, fast ganz an derselben Stelle.

Wie erwähnt betrachten wir die in den Tabellen angeführten Differenzen als einen mittleren Wert der überhaupt im betreffenden Monat vorgekommenen Ströme; die negativen Vorzeichen bezeichnen, dass der Strom einwärtsgehend nach dem Grossen Belt war; wir sehen,

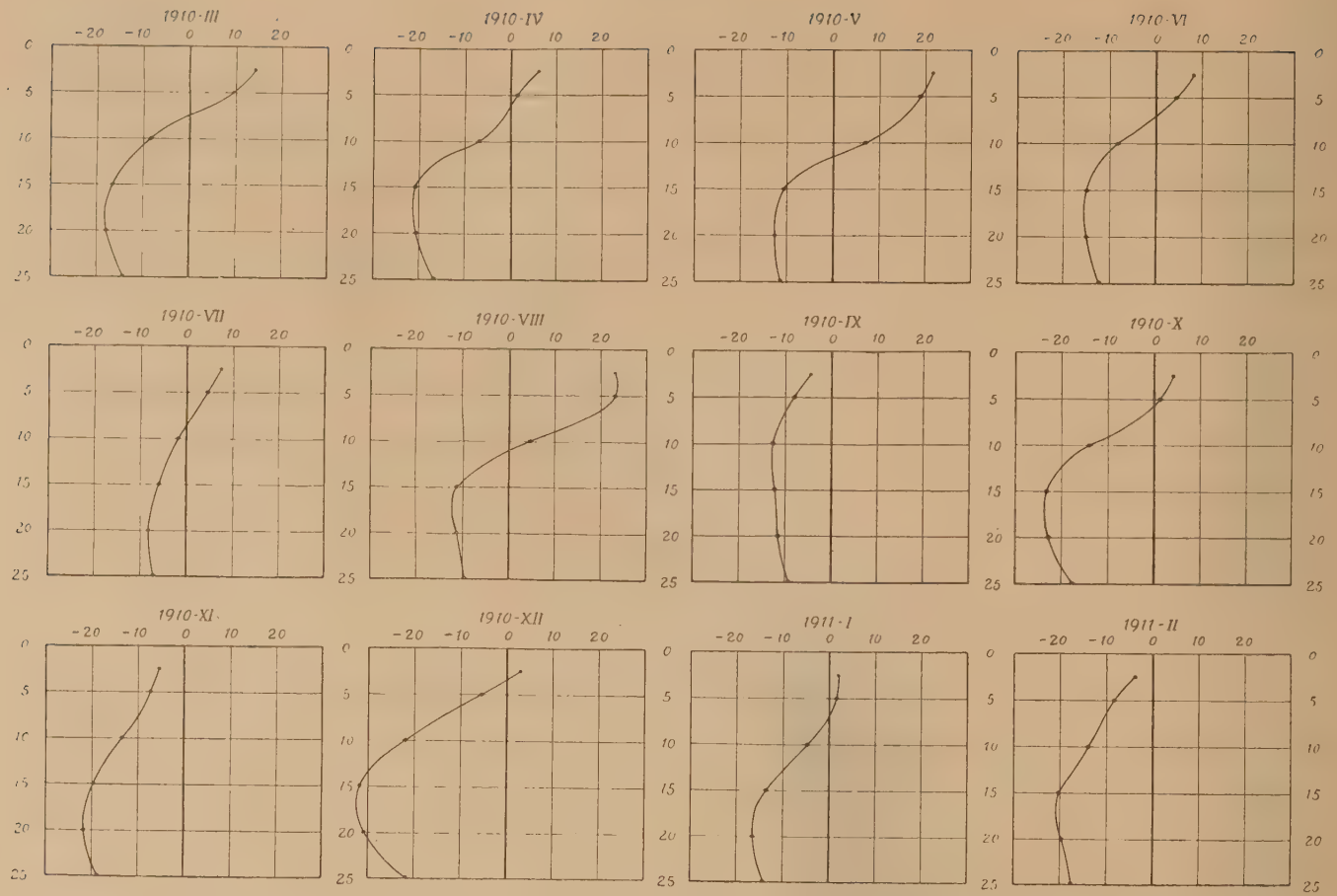



Fig. 9. Monatsmittel des Stromes bei dem Feuerschiff Schultz's Grund in den Tiefen $2^1/_2$, 5, 10, 15, 20 und 25 m. Die Zahlen über jeder Figur geben den Strom in $^{cm}/_{sec}$ an; die positiven Zahlen bezeichnen auswärtsgehenden Strom (nach der Nordsee), die negativen einwärtsgehenden (nach der Ostsee).

dass der Strom in Tiefen grösser als ca. 11 m im mittleren Wert der einzelnen Monate bei Schultz's Grund stets einwärtsgehend war, während bei Anholt Knob in der Periode vom 1.—16. September 1910 auswärtsgehender Strom mittleren Wertes bis in 25 m Tiefe vorgefunden wurde; die auswärtsgehenden Ströme in der Tiefe sind hier jedoch sehr schwach.

Graphische Darstellung der der Schwankung des Stroms der Tiefe nach

Die Figg. 8, 9, 10, 11 und 12 stellen Diagramme der in den Tabb. 33, 36, 37 und 38 verzeichneten Zahlen dar.

Hieraus ist ersichtlich, wie der mittlere Strom sich der Tiefe nach ändert. Er ist auswärtsgehend an der Oberfläche, einwärtsgehend in der Tiefe; bei Lappegrunden liegt der Übergang zwischen auswärtsgehendem und einwärtsgehendem mittleren Strom in 9 m Tiefe, bei Schultz's Grund in 7 m und bei Anholt Knob in 4 m Tiefe, nach den mittleren Werten des ganzen Zeitraumes berechnet.

Die Lage des neutralen Punkts ist etwas verschieden in den verschiedenen Monaten; von Schultz's Grund gilt, dass der Übergang zwischen den auswärts- und einwärtsgehenden Strömen, wenn die auswärtsgehenden Ströme an der Oberfläche in einem Monat besonders stark waren, tiefer liegt als es normaliter der Fall sein sollte, und umgekehrt, wenn in einem Monat die einwärtsgehenden Ströme ungewöhnlich stark waren. Es hat

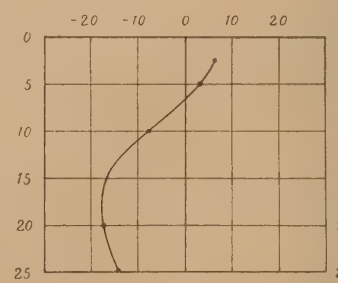



Fig. 10. Mittlere Werte des Stromes bei dem Feuerschiff *Schultz's Grund* in der Periode vom 1. März 1910—1. März 1911 in den Tiefen $2^1/_2$, 5, 10, 15, 20 und 25 m. Die Zahlen über der Figur geben den Strom in $^{cm}/_{sec}$ an; die positiven Zahlen bezeichnen auswärtsgehenden Strom (nach der Nordsee), die negativen einwärtsgehenden (nach der Ostsee).

daher den Anschein, dass zu gewissen Zeiten die Wassermassen in allen Schichten einen Zuwachs an Bewegung auswärts oder einwärts erhalten, wodurch der Übergangspunkt zwischen den auswärts- und einwärtsgehenden Strömen verrückt wird.

Während das Beobachtungsmaterial von Anholt Knob eine zu kurze Periode umfasst, um von der jährlichen Abänderung des Stromes Aufschluss zu geben, lässt sich aus den Zahlen von Schultz's Grund sofort eine ausgeprägte jährliche Periode erkennen.

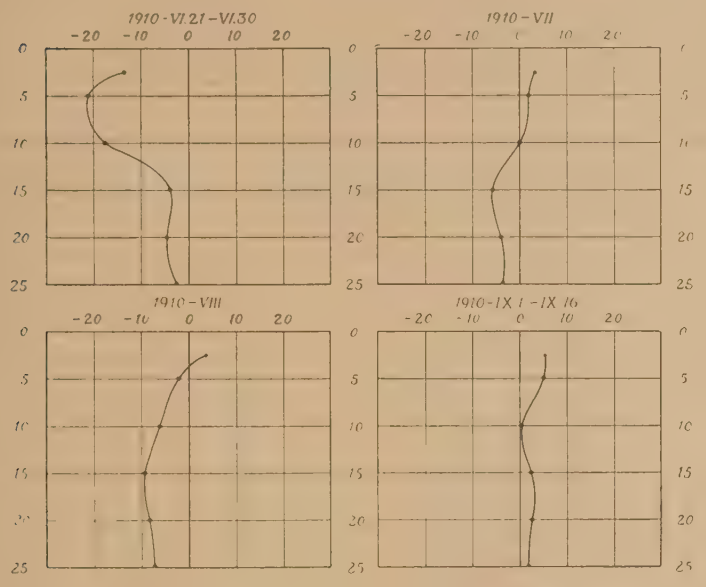



Fig. 11. Mittlere Werte des Stromes bei dem Feuerschiff *Anholt Knob* in den angeführten Perioden in den Tiefen $2^1/_2$, 5, 10, 15 und 25 m. Die Zahlen über jeder Figur geben den Strom in cm/sec an; die positiven Zahlen bezeichnen auswärtsgehenden Strom (nach der Nordsee), die negativen einwärtsgehenden (nach der Ostsee).

Die jährliche Periode des Stroms in der Tiefe bei Schultz's Grund

Zur näheren Untersuchung dieser Periode enthält Fig. 13 eine graphische Darstellung sowohl der mittleren Zahlen selbst als der durch Ausgleichung gefundenen Sinuskurve für jede Tiefe, die sich ihnen zunächst anschliesst; man sieht, dass die berechneten Sinuskurven sich den Beobachtungen in betreff der tieferen Schichten ziemlich genau anschliessen; der Ausschwung ist durchgehends etwas kleiner in den tieferen Schichten als in den obersten, und der Zeitpunkt, wo der Strom im Maximum oder Minimum ist, ändert sich etwas der Tiefe nach; er fällt später in den unteren Schichten als in den oberen; der Zeitpunkt des Maximums des einwärtsgehenden Stroms ist in Fig. 13 rechts angegeben.

Obschon das Observationsmaterial eines einzelnen Jahres zu einer Untersuchung der jährlichen Periode des Stroms ziemlich klein ist, wollen wir doch versuchen, einen Vergleich mit dem lokalen Wind und dem Solenoidefeld Schultz's Grund—Anholt Knob anzustellen, indem wir uns vorläufig auf die Messungen von Schultz's Grund beschränken.

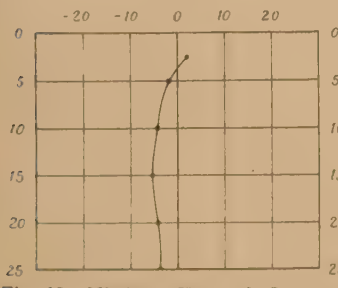



Fig. 12. Mittlere Werte des Stromes bei dem Feuerschiff *Anholt Knob* in der Periode vom 21. Juni 1910—16. Septbr. 1910 in den Tiefen $2^1/_2$, 5, 10, 15, 20 und 25 m. Die Zahlen über der Figur geben den Strom in cm/sec an; die positiven Zahlen bezeichnen auswärtsgehenden Strom (nach der Nordsee), die negativen einwärtsgehenden (nach der Ostsee).

Der Einfluss des Windes auf den Strom in der Tiefe bei Schultz's Grund

Fig. 13 hat oben eine Kurve der monatlichen Mittel des Stroms an der Oberfläche, die sich aus der früher gefundenen Formel der Abhängigkeit des Oberflächenstroms vom Winde bei Schultz's Grund berechnen lassen.

Die nächste Kurve der Figur stellt den Strom an der Oberfläche dar, in derselben Weise wie früher nach den im Nautisk-meteorologisk Aarbog enthaltenen Strommessungen berechnet; man sieht, dass die Übereinstimmung zwischen dem Oberflächenstrom und dem aus dem Winde berechneten Strom einigermassen von derselben Art ist wie früher gefunden, namentlich wenn die beiden Monate Januar und Februar 1910 mit herangezogen werden, aber die Stromkurven ändern gleichmässig fortschreitend Charakter, je nachdem die Tiefe zunimmt, und der Einfluss, den der Wind, nach der angeführten Formel berechnet, in der Tiefe haben kann, scheint gering.

Der Strom in der Tiefe und das Solenoidefeld

Um zu erfahren, ob für die gefundenen Perioden des Stroms in der Tiefe ein Zusammenhang mit dem Solenoidefeld besteht, habe ich dieses in ähnlicher Weise berechnet wie früher für Schultz's Grund—Anholt Knob bis 26 m Tiefe. Indem die Einheit $100 \frac{cm^2}{sec^2}$ ist, wurden folgende Werte des Feldes gefunden.

| | 1910 | | | | | | | | | | | | 1911 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | J | F |
| | 25 | 42 | 26 | 11 | 6 | —13 | 9 | 6 | 36 | 31 | 27 | 18 | 44 | 58 |

Der Strom in der Tiefe bei Schultz's Grund und der Niveauunterschied zwischen Ostsee und Nordsee

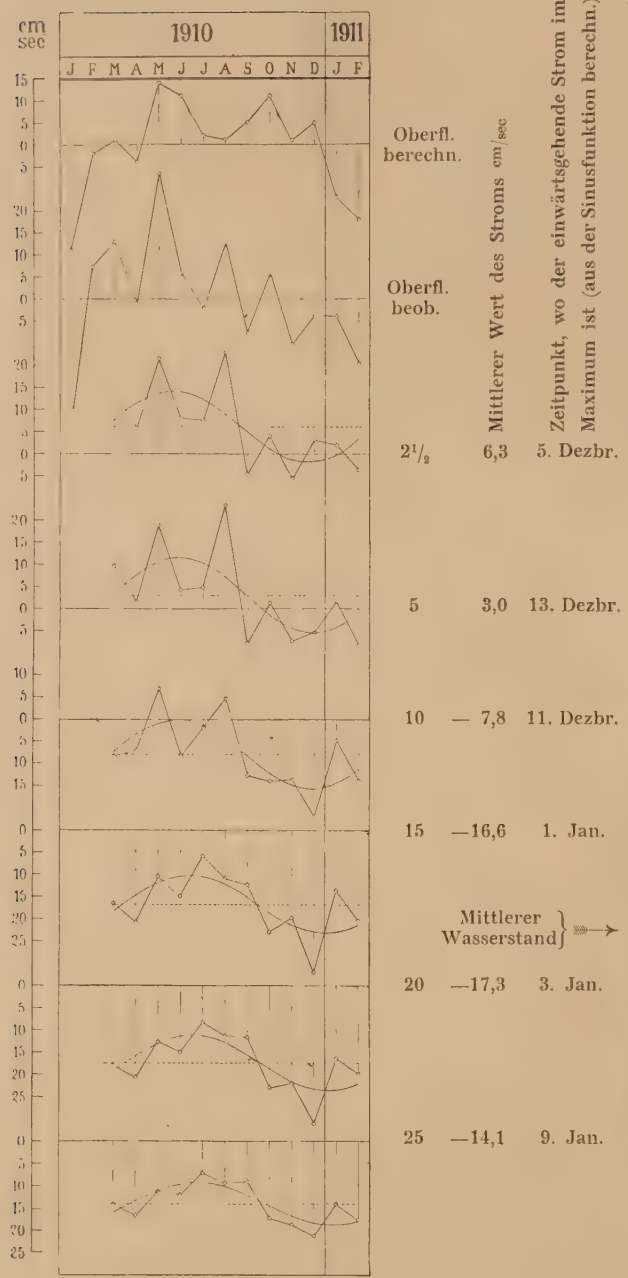

cm sec
1910
1911
J F M A M J J A S O N D J F
Oberfl. berechn.
Oberfl. beob.
Mittlerer Wert des Stroms cm/sec
Zeitpunkt, wo der einwärtsgehende Strom im Maximum ist (aus der Sinusfunktion berechn.)
2½ 6,3 5. Dezbr.
5 3,0 13. Dezbr.
10 — 7,8 11. Dezbr.
15 —16,6 1. Jan.
Mittlerer Wasserstand
20 —17,3 3. Jan.
25 —14,1 9. Jan.

Fig. 13. Graphische Darstellung der Monatsmittel der bei *Schultz's Grund* gemessenen Ströme und — für die Oberfläche — der aus dem Winde berechneten Monatsmittel. Für die Beobachtungen in der Tiefe ist ausserdem eine durch Ausgleichung bestimmte Sinuskurve eingezeichnet.

Die Richtungen der Feldkräfte verhalten sich so, dass die positiven Werte an der Oberfläche auswärtsgehenden Strom, in der Tiefe einwärtsgehenden Strom erzeugen werden.

Wie man sieht, ist das Solenoidefeld am kräftigsten in der Jahreszeit, wo der Strom am stärksten einwärtsgehend ist; die Übereinstimmung gilt aber nur in grossen Zügen.

Möglicherweisse wird man einen Zusammenhang finden zwischen der jährlichen Periode des Stroms und der Periode des Niveauunterschiedes zwischen Nordsee und Ostsee. Fig. 14 enthält eine graphische Darstellung des Wasserstandes nach KRÜMMEL [1])

1) an der deutschen Ostseeküste,
2) an der schwedischen Ostseeküste,
3) an der holländischen Nordseeküste.

Die Kurven sind auf Grund von mittleren Zahlen mehrjähriger Beobachtungen gezeichnet. Man

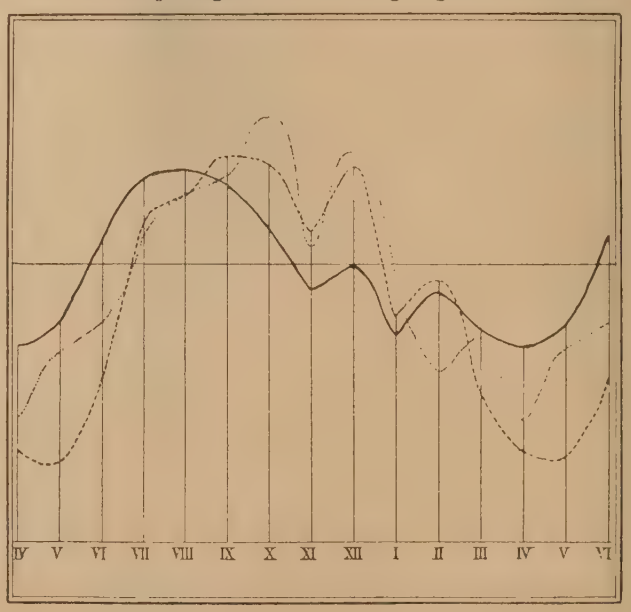



Fig. 14. Jährliche Periode des Wasserstandes.
——— an der deutschen Ostseeküste,
– – – – — — schwedischen —
· · · · — — holländischen Nordseeküste.
Der senkrechte Massstab hat $^1/_5$ nat. Grösse.

sieht, dass sich in den Monaten September—Januar verhältnismässig höherer Wasserstand in der Nordsee findet als in der Ostsee, an beiden Orten im Verhältnis zum mittleren Wasserstand gemessen.

[1]) Krümmel: Handbuch der Oceanographie I. S. 56.

Obgleich der Unterschied der Abweichung des Wasserstandes vom normalen in der Nordsee und der Ostsee nach der angeführten Figur nicht gross ist, indem die Ordinaten in $^1/_5$ natürlicher Grösse gezeichnet sind, besteht dennoch die Möglichkeit, dass diese Erscheinung an sich von Bedeutung sein kann, am wahrscheinlichsten ist wohl aber die Annahme, dass sowohl die Abweichung des Stroms als die des Wasserstandes von der Norm hauptsächlich von anderen gemeinsamen Ursachen meteorologischer oder kosmischer Art oder vielleicht von einem Zusammenwirken von solchen abhängt; dass in dem atlantischen Wasser, das ins Skagerak hinein- und in vermischtem Zustand durch die dänischen Gewässer weiter vordringt, periodische Strömungen vorkommen, ist zu wiederholten Malen von PETTERSSON[1]) behauptet worden; die starke nach PETTERSSON im Herbst stattfindende Zuströmung von atlantischem Wasser stimmt, was die Zeit betrifft, gut überein mit der vermehrten Einströmung bei Schultz's Grund, aber zur Lösung der Frage, inwiefern diese Einströmung tatsächlich auf kosmischen Ursachen beruht, oder ob der Wind ausserhalb der lokalen Gebiete in Verbindung mit der Verteilung des spezifischen Gewichtes des Wassers einen hinlänglichen Erklärungsgrund abgeben kann, liefern die vorliegenden Messungen keinen Beitrag.

Zum Vergleich mit den Zahlen des resultierenden Stroms bei Anholt Knob Tab. 38 werden schliesslich die Werte angeführt, die man durch eine Berechnung des Oberflächenstroms aus dem Winde erhalten wird, und diejenigen, die man durch Bildung von mittleren Zahlen aus den Beobachtungen von Nautisk-meteorologisk Aarbog, den Berechnungen von Schultz's Grund ganz analog, erhält.

Oberflächenstrom bei Anholt Knob im

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zeitraum | 21/6—30/6 | 1910, | aus dem | Winde | berechnet | —15 | cm/sec, | gefunden | —20 | cm/sec |
| — | 1/7—31/7 | — | — | — | — | —11 | — | — | + 4 | — |
| — | 1/8—31/8 | — | — | — | — | − 1 | — | — | + 2 | — |
| — | 1/9—16/9 | — | — | — | — | +12 | — | — | +14 | — |

Im vorhergehenden haben wir auf Grund der vorliegenden Beobachtungen einen empirischen Zusammenhang zwischen den zeitlichen Schwankungen der verschiedenen hydrographischen Faktoren zu finden gesucht. Im folgenden soll die Bewegung des Meerwassers auf Grund des Beobachtungsmaterials aus dem Langelandsbelt, von Schultz's Grund, Lappegrunden und Anholt Knob näher untersucht werden.

## DIE BEWEGUNG DES MEERWASSERS UND DIE INNERE REIBUNG

Es verursachte immer grosse Schwierigkeiten, eine Verbindung zwischen der praktischen Hydrographie und der theoretischen Hydrodynamik zu stiften. Von Zöppritz's Windtheorie bis Bjerknes's Berechnung von Strömen durch die Solenoidefelder ist die mangelhafte Übereinstimmung zwischen Erfahrung und aufgestellten Theorien in die Augen springend.

Die Schwierigkeit liegt wesentlich in dem mangelhaften Beobachtungsmaterial; hierzu kommt, dass, wenn auch die Bewegungen des Wassers im Meere natürlich denselben Gesetzen folgen, die wir durch Laboratorienversuche als für die Bewegung von Flüssigkeiten geltend kennen gelernt haben, die Ver-

[1]) Siehe z. B. Pettersson: Über die Wahrscheinlichkeit von periodischen Schwankungen in dem Atlantischen Strome und seinen Randgewässern. Ann. d. Hydrographie etc. 1906, S. 1.

hältnisse in der Natur so verwickelt sind, dass man bei den praktischen Berechnungen zu Annäherungen genötigt wird.

In vielen Fällen ist dies tunlich, indem die von der Hydrodynamik her bekannten Gleichungen auch für die Bewegung des Meerwassers formaliter aufrechterhalten werden und nur die in die Gleichungen eingehenden Konstanten auf empirischem Wege der Natur der besonderen Verhältnisse gemäss bestimmt werden.

Wichtige theoretische Untersuchungen sind ausgeführt worden von W. Ekman[1]) über den Einfluss des Windes auf den Strom im Meere und von Bjerknes[2]) über die Berechnung des Stroms durch das Solenoidefeld, wie im vorhergehenden besprochen.

In beiden Fällen wird die Anwendung der Theorie in der Praxis dadurch erschwert, dass die innere Reibung des Meerwassers unbekannt ist.

Allerdings kennen wir die innere Reibung des Meerwassers sehr gut von Laboratorienversuchen her, wo man mit einer Bewegung der Wasserpartikeln in parallelen Bahnen zu tun hatte; wenn wir aber annehmen, dass die Wasserschichten im Meere sich unter dem Einfluss von Kräften verschiedener Art parallel übereinander verschieben, müssen wir gleichzeitig damit rechnen, dass die Wirbelbewegung im Wasser imstande ist, eine gewisse Bewegungsmenge von einer Wasserschicht auf eine nahe liegende zu übertragen, so dass dies dieselbe Wirkung hat wie eine Vermehrung der inneren Reibung.

Diese innere Reibung, von der wir annehmen, dass sie im Meere vorhanden ist, wenn die Bewegung z. B. der Strömung bei Poiseuilles Versuch analog betrachtet wird, nennen wir mit Ekman die virtuelle innere Reibung zum Unterschied von der Poiseuilleschen.

Den Unterschied zwischen diesen beiden Arten innerer Reibung hat W. Ekman[3]) durch einen Laboratorienversuch aufgeklärt, bei dem er die Reibung teils in homogenem Wasser, teils in Salzlösungen von verschiedenem spezifischen Gewicht, die geschichtet übereinander lagen, untersuchte; bei übrigens gleichen Umständen fand er bei weitem den grössten Wert in ersterem Falle.

Auch auf Grund von Betrachtungen der Lage der isohalinen Flächen im Meere hat Ekman[4]) in gewissen Fällen die Grössenordnung der virtuellen inneren Reibung beurteilen können, aber diese Angaben ruhen doch nur auf einer unsicheren Grundlage, und trotz der fundamentalen Bedeutung dieser Frage sind meines Wissens bisher keine Untersuchungen zur Bestimmung dieser Konstante angestellt worden.

Bevor ich auf Grund der ausgeführten Messungen zu der numerischen Bestimmung der inneren Reibung übergehe, wird es praktisch sein, deren Zusammenhang mit anderen hydrographischen Elementen aufzuklären.

## BESTIMMUNG DER INNEREN REIBUNG MITTELS DES STROMS UND DES HORIZONTALEN DICHTIGKEITSGRADIENTEN

Stellen wir uns ein Gewässer vor, in dem der Strom nur eine Richtung hat, positiv oder negativ in der Längsrichtung des Gewässers. Irgendwo in diesem Gewässer legen wir ein Koordinatensystem an (XZ), dessen Z-Achse senkrecht nach unten und dessen X-Achse wagerecht in der Längsrichtung des Gewässers durch den Schneidepunkt der Z-Achse mit der Oberfläche des Wassers geht.

[1]) W. Ekman: On the Influence of the Earths Rotation on Ocean-Currents. Arkiv för matematik astronomi och fysik, Bd. 2 Nr. 11, Kungl. svenska vet. akad. Stockholm 1905 und
W. Ekman: Beiträge zur Theorie der Meeresströmungen. Ann. der Hydrographie. 1906, S. 423.
[2]) Siehe z. B. V. Bjerknes: Cirkulation relativ zur Erde. Öfversigt af Kungl. vetensk. akad. förhandl. 1901 Nr. 10, Stockholm.
[3]) W. Ekman: Beiträge zur Theorie der Meeresströmungen. Ann. d. Hydrographie 1906, S. 428.
[4]) Ebenda S. 539.

Vom Druck in einer Linie winkelrecht auf die XZ. Ebene wird angenommen, dass er überall derselbe ist; er wird als p bezeichnet. Wird demnächst das spezifische Gewicht durch $\rho$ bezeichnet, kann der Zuwachs des horizontalen Druckgradienten $\frac{dp}{dx}$ der Tiefe nach durch

$$d\frac{\frac{dp}{dx}}{dz} = g \cdot \frac{d\rho}{dx}. \qquad (1)$$

ausgedrückt werden. Um einen Ausdruck der Bewegungsmenge zu erhalten, die einer bestimmten Volumeneinheit, die sich mit dem Strom bewegt, zugeführt wird, benutze ich den von Johan Gehrke[1]) definierten Ausdruck der Mischungsintensität. Gehrke definiert diese mittels der Schwankungen, die wegen des gegenseitigen Platzwechsels der Wasserteile in der Temperatur stattfinden; wird ein ähnliches Räsonnement auf Salzmenge, Masse, Bewegungsmenge u. s. w. angewandt, wird man dadurch auch eine »Mischungsintensität« definieren können, aber wenn die Bewegungen im Wasser, durch welche diese hydrographischen Elemente von Schicht auf Schicht übertragen werden, auch dieselben sind, kann die entstehende »Leitung« der verschiedenen Elemente, gut sehr verschieden sein.

Betrachten wir die Diffusion des Salzes und die molekulare Leitung der Wärme als verschwindend klein im Verhältnis zu den Salzgehalt- und Temperaturumsätzen, die durch die Mischungen entstehen, so wird die Mischungsintensität, die durch Temperatur- und Salzgehaltverteilung zu verschiedenen Zeiten in Verbindung mit den vorkommenden Strömungen gefunden wird, dieselbe sein.

Anders verhält es sich mit der Mischungsintensität, mit der man rechnen muss, wenn von der Übertragung von Bewegungsmengen von Schicht auf Schicht die Rede ist. Zwar kann die Geschwindigkeit der Wasserteile in derselben Weise wie der Salzgehalt von Schicht zu Schicht mitgeteilt werden, es ist aber möglich, dass eine Wassermenge aus einer Schicht in eine andere hineindringen und dieser etwas von ihrer Bewegungsmenge mitteilen kann, ohne dass eine eigentliche Vermischung stattfindet, und dass diese Wassermenge danach wieder zurückkehren kann. Man muss daher erwarten, dass die Geschwindigkeiten sich leichter von Schicht zu Schicht mitteilen als Temperatur und Salzgehalt.

A priori darf man nicht erwarten, dass das Verhältnis zwischen der durch den Salzgehalt bestimmten Mischungsintensität und der durch die Bewegungsmenge bestimmten immer dasselbe ist; es muss von der Natur der Mischungsprozesse abhängig sein. Andererseits sind die Bewegungen im Wasser, die beide bedingen, dieselben, so dass man annehmen darf, dass das Verhältnis zwischen ihnen weniger variabel ist als die Mischungsintensitäten selbst, und wenn davon die Rede ist, allgemeine Ausdrücke der Bewegung im Meere zu finden, wird es sicherlich von Bedeutung sein, dieses Verhältnis zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten zu bestimmen.

Im folgenden bezeichnen wir die Mischungsintensität im allgemeinen durch $\mu$ und versehen dies Zeichen in den speziellen Fällen mit einem Index, der angibt, ob der Ausdruck sich z. B. auf den Salzgehalt ($\mu_s$) oder auf die Bewegungsmenge ($\mu_u$) bezieht.

Bezeichnen wir eine der genannten Grössen, Wärmemenge, Salzgehalt, Bewegungsmenge u. s. w. für die Volumeneinheit durch P, so ist der Zuwachs, den P in der Zeiteinheit in einer Wasserschicht der Dicke dz erfährt, wenn die Mischungsintensität $\mu$ ist,

$$\frac{dP}{dt} = \frac{d\mu \frac{dP}{dz}}{dz}. \qquad (2)$$

[1]) Johan Gehrke: Om vertikale Varmestrømme i Havet, København 1912, S. 25.

Die Zahl, durch die $\mu$ angegeben wird, hängt von den Einheiten ab, die angewendet werden, und wenn wir hier cm, gr und sec benutzen, wird die Einheit von $\mu$ 8,6 mal so gross wie die von Gehrke angewandte.

Setzen wir in (2) P = der Bewegungsmenge in horizontaler Richtung nach der X-Achse für 1 cm³ Meerwasser, und bezeichnen wir diese durch $\rho \cdot u$, wo $\rho$ spezifisches Gewicht und u Geschwindigkeit bezeichnen, erhalten wir also einen Ausdruck der Bewegungsmenge, die in der Zeiteinheit 1 cm³ der Wasserschicht zugeführt wird. Für die stationäre Bewegung hat man somit

$$\frac{dp}{dx} = \frac{d\mu_u \frac{d\rho u}{dz}}{dz}. \tag{3}$$

$\mu_u$ soll in Übereinstimmung mit dem früher angeführten als die virtuelle innere Reibung oder, wo kein Missverständnis möglich ist, nur als innere Reibung bezeichnet werden.

Durch Differentiation mit bezug auf z und durch Benutzung von Gleichung (1) erhalben wir nun

$$\frac{d^2\mu_u \frac{d\rho u}{dz}}{dz^2} = g \cdot \frac{d\rho}{dx}, \tag{4}$$

woraus $\mu_u$ bestimmt werden kann, wenn der Strom und der horizontale Dichtigkeitsgradient in den verschiedenen Tiefen bekannt sind.

Ist $\mu_u$ konstant zwischen den Tiefen $z_1$ und $z_2$, so haben wir für dies Gebiet

$$\mu_u \cdot \frac{d^3\rho u}{dz^3} = g \cdot \frac{d\rho}{dx} \tag{5}$$

oder

$$\mu_u \left[ \left( \frac{d^2\rho u}{dz^2} \right)_{z_2} - \left( \frac{d^2\rho u}{dz^2} \right)_{z_1} \right] = g \int_{z_1}^{z_2} \frac{d\rho}{dx} \cdot dz. \tag{6}$$

Im allgemeinen kann die Gleichung (4) zur Bestimmung von $\mu_u$ benutzt werden. Durch Integration erhalten wir

$$\frac{d\mu_u \frac{d\rho u}{dz}}{dz} = \int_0^z g \cdot \frac{d\rho}{dx} \cdot dz + C.$$

Der Wert von $\frac{d\mu_u \frac{d\rho u}{dz}}{dz}$ für $z = 0$ zur Bestimmung der Konstante C ergibt sich aus (3) als der Druckgradient an der Oberfläche $\frac{dp}{dx}$; nennen wir diesen $\eta$ und integrieren wir wieder, so haben wir

$$\mu_u = \frac{\int_0^z dz \int_0^z g \cdot \frac{d\rho}{dx} dz + \eta z + C'}{\frac{d\rho u}{dz}}.$$

Die in diesem Ausdruck enthaltene arbiträre Konstante lässt sich durch die Grenzbedingung bestimmen, die für die Bewegung an der Wasseroberfläche stattfindet.

Denken wir uns eine von der Oberfläche und einer d cm darunter gelegenen Niveauschicht begrenzte Wasserschicht, wird ein Teil davon von der Länge l cm in der Richtung des Stroms und der Breite b cm winkelrecht darauf von einer Kraft $= -l \cdot b \cdot d \cdot \frac{dp}{dx} + T \cdot l \cdot b$ beeinflusst sein; T bezeichnet hier eine auf 1 cm² der Oberfläche selbst wirkende Tangentialkraft, und die geringe Neigung bleibt unberück-

sichtigt. Die Beeinflussung der Reibung gegen die Unterschicht kann durch die Kraft $\mu_u \cdot \frac{d\rho u}{dz} \cdot l \cdot b$ ausgedrückt werden, so dass wir für die stationäre Bewegung

$$-l \cdot b \cdot d \cdot \frac{dp}{dx} + T \cdot l \cdot b + \mu_u \cdot l \cdot b \left(\frac{d\rho u}{dz}\right)_d = 0$$

oder

$$-\frac{dp}{dx} d + T + \mu_u \left(\frac{d\rho u}{dz}\right)_d = 0$$

haben. Wir sehen also, dass wir, wenn d gegen 0 hin abnimmt,

$$\mu_{u_0} \cdot \left(\frac{d\rho u}{dz}\right)_0 = -T,$$

haben, indem Index 0 bezeichnet, dass die Grössen $\mu_u$ und $\frac{d\rho u}{dz}$ als für die Oberfläche geltend betrachtet werden sollen.

Man findet deshalb im allgemeinen:

$$\mu_u = \frac{\int_0^z dz \int_0^z g \cdot \frac{d\rho}{dx} \cdot dz + \eta z - T}{\frac{d\rho u}{dz}}. \tag{7}$$

Setzen wir

$$g \cdot \int_0^z dz \int_0^z \frac{d\rho}{dx} \cdot dz = Q, \tag{8}$$

so ist

$$\mu_u = \frac{Q + \eta z - T}{\frac{d\rho u}{dz}}. \tag{9}$$

Ich nehme nun an, dass man das Glied Q durch Messung von Temperatur und Salzgehalt bestimmen kann. Sind auch die Konstanten $\eta$ und T sowie $\frac{d\rho u}{dz}$ bekannt, so kann man $\mu_u$ finden.

Ist $\mu_u$ konstant und $\frac{d\rho}{dx} = 0$, so ist $Q = 0$, und u wird ausgedrückt durch die Gleichung

$$\mu_u \cdot \rho u = \tfrac{1}{2} \eta z^2 - Tz + C''.$$

C'' kann bestimmt werden, wenn vorausgesetzt wird, dass die Wasserteile am Boden still liegen, indem z gleich der Tiefe gesetzt wird, oder dadurch, dass der Strom in einer bestimmten Tiefe bekannt ist. Ist der Strom $u_0$ an der Oberfläche bekannt, so ist $C'' = \mu^u \rho_0 u_0$.

Da $\rho$ im Verhältnis zu den Schwankungen von u als konstant = 1 betrachtet werden kann, lässt sich die Gleichung in folgende Form umschreiben:

$$u = u_0 - \frac{T^2}{2\mu_u \cdot \eta} + \frac{\eta}{2\mu_u} \left(z - \frac{T}{\eta}\right)^2, \tag{10}$$

woraus sich ergibt, dass das Geschwindigkeitsdiagramm eine Parabel mit horizontaler Achse wird.

Gilt die Bedingung $\frac{d\rho}{dx} = 0$ und $\mu_u$ konstant nur für ein von zwei horizontalen Ebenen begrenztes Gebiet, kann die Gleichung (10) auch auf ein solches Gebiet angewandt werden, indem $u_0$ dann den Strom in den obersten Schichten des Gebietes, $\eta$ den Druckgradienten, der vom darüber liegenden Wasser herrührt, und schliesslich T die Tangentialkraft bezeichnet, die von der Bewegung der oberen Schichten herrührend auf die oberste Begrenzungsfläche des Wassergebietes wirkt.

# BESTIMMUNG DER NEIGUNG DER OBERFLÄCHE DES WASSERS ZWISCHEN DEM GROSSEN BELT UND DEM KATTEGAT

Ist die Schwankung der Temperatur und des Salzgehalts der Tiefe nach an zwei Stationen bekannt, die in der Richtung des Stroms und in einer solchen Entfernung liegen, dass $\frac{d\rho}{dx}$ bestimmt werden kann, so erhellt aus dem vorhergehenden, dass man imstande sein wird, die Konstanten T und $\eta$ durch Messungen des Stroms zu bestimmen.

Ist $\mu_u$ konstant für die obersten Schichten, was oft der Fall sein wird, kann man mittels der Gleichungen (1) und (3) eine einfache Bestimmung von $\eta$ erhalten.

Integration von (1) ergibt:

$$\frac{dp}{dx} = \eta + g\int_0^z \frac{d\rho}{dx} \cdot dz;$$

wird hier der Wert von $\frac{dp}{dx}$ aus (3) eingesetzt, indem $\mu_u$ von 0 bis z als konstant angenommen wird, so hat man

$$\eta = -g\int_0^z \frac{d\rho}{dx} \cdot dz + \mu_u : \frac{d^2\rho u}{dz^2}. \qquad (11)$$

Wenn man also für z die Tiefe wählt, in der $\frac{d^2u}{dz^2} = 0$ ist, wird $\eta$ allein durch das erste Glied bestimmt, indem $\rho$ mit hinreichender Genauigkeit im letzten Glied konstant gesetzt werden kann.

Zur Bestimmung der Differentialquotienten von u in bezug auf die Tiefe benutzte ich die durch die Kurve Fig. 10 dargestellten mittleren Werte der Stärke des Stroms beim Feuerschiff Schultz's Grund. An der Kurve wurde der Strom der Tiefen $1^1/_4$ m (extrapol.), $3^3/_4$, $6^1/_4$, $8^3/_4$, $11^1/_4$, $13^3/_4$, $16^1/_4$, $18^3/_4$, $21^1/_4$, $23^3/_4$ sowie $26^1/_4$ m (extrapol.) abgelesen.

Die abgelesenen Stromstärken und ihre Differentialquotienten sind Tab. 39 angeführt.

Zur Berechnung der entsprechenden Werte von $\frac{d\rho}{dx}$ wurden die 1902—1907 an den Stationen Da 20 und Da 21 [1]) ausgeführten Temperatur- und Salzgehaltmessungen benutzt. Für jede Tiefe wurden aus den Differenzen von $\sigma_t$ an den beiden Stationen mittlere Zahlen gebildet. Diese finden sich Tab. 39.

Wird die Entfernung zwischen den beiden Stationen zu 47 km angesetzt, erhält man die Tab. 39 angeführten Werte von $\frac{d\rho}{dx}$.

Aus Tab. 39 geht hervor, dass $\frac{d^2u}{dz^2}$ für eine Tiefe von ca. 9 m = 0 ist, und aus Gleichung (11) erhält man also

$$\eta = -g \cdot \int_0^{9\text{ m}} \frac{d\rho}{dx}\, dz.$$

Durch graphische Interpolation und Integration mit Benutzung der Tab. 39 angeführten Werte von $\frac{d\rho}{dx}$ findet man:

$$\eta = -1{,}8 \times 10^{-4} \cdot \text{Dyn/cm}^3.$$

[1]) Bulletin trimestriel etc.

In Nautisk-meteorologisk Aarbog 1906 ist für den Unterschied des Wasserstandes zwischen Aarhus und Frederikshavn der vorläufige Wert 1,8 cm angegeben. Rechnet man mit einer Entfernung von ca. 170 km, so ist der horizontale Druckgradient

$$-\frac{1{,}8 \times 1000}{1{,}7 \times 10^7} = -1{,}1 \times 10^{-4}\ \text{Dyn/cm}^3,$$

was eine Übereinstimmung bezeichnet, wie man sie wohl nicht besser zu erhalten erwarten konnte.

*Tabelle 39.*

| Tiefe | u | $1000 \cdot \frac{du}{dz}$ | $10^6 \cdot \frac{d^2u}{dz^2}$ | $10^8 \cdot \frac{d^3u}{dz^3}$ | $\sigma_{t,\,Da\,20} - \sigma_{t,\,Da\,21}$ | $10^{11} \times \frac{d\rho}{dx}$ | $10^9 \int_0^z \frac{d\rho}{dx} dz$ | $10^6 \int_0^z dz \int_0^z \frac{d\rho}{dx} \cdot dz$ | $10^3 \int_0^z dz \int_0^z dz \int_0^z \frac{d\rho}{dx} \cdot dz$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | | | | | 0,53 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| 2,5 | 7,4 | — 10 | | | | 17 | 35 | 4 | 0 |
| 5,0 | 5,0 | — 17 | — 29 | 3 | 1,02 | 22 | 84 | 18 | 3 |
| 7,5 | 0,8 | — 22 | — 22 | 7 | | 23 | 140 | 47 | 11 |
| 10,0 | — 4,8 | — 24 | — 5 | 9 | 0,89 | 18 | 196 | 89 | 28 |
| 12,5 | — 10,7 | — 19 | 18 | 11 | | — 17 | 210 | 141 | 56 |
| 15,0 | — 15,5 | — 8 | 45 | — 6 | — 2,23 | — 47 | 116 | 184 | 97 |
| 17,5 | — 17,5 | 0 | 30 | — 6 | | — 43 | 0 | 197 | 145 |
| 20,0 | — 17,6 | 4 | 16 | — 1 | — 1,28 | — 27 | — 93 | 185 | 194 |
| 22,5 | — 16,7 | 7 | 13 | — 1 | | | | | |
| 25,0 | — 15,0 | 9 | 10 | | | | | | |
| | — 12,7 | | | | | | | | |

Auch mittels der Gleichung (9) lässt $\eta$ sich bestimmen; hier ist es indessen notwendig, T zu kennen, aber für das Gewässer um Schultz's Grund wird es aller Wahrscheinlichkeit nach gestattet sein, diese Grösse $= 0$ zu setzen, indem wir davon ausgehen, dass der direkte Einfluss, den der Wind auf den mittleren Wert des Stroms ausübt, in diesem Gewässer nur gering ist; etwas anderes ist es, dass der Wind durch Einfluss auf das Wasser im Skagerak und in der Ostsee, vielleicht auch im Kattegat, Anstauungen erzeugen kann, welche Ströme hervorbringen, deren mittlerer Wert nicht verschwindend klein ist, aber hier treten die mittleren Werte der Anstauungen in $\eta$ ein. Übrigens deuten auch die Tab. 39 angeführten Werte von $\frac{du}{dz}$ darauf, dass $T = 0$ ist. Da das spezifische Gewicht $\rho$ in Formel (9) sich in dieser Beziehung $= 1$ setzen lässt, bewirkt $\frac{du}{dz} = 0$ für die Oberfläche nämlich, dass $T = 0$ ist, und wird in der Tab. 39 zum Wert von $\frac{du}{dz}$ für die Oberfläche extrapoliert, wird $\frac{du}{dz}$ jedenfalls sehr klein.

Wird also $T = 0$ gesetzt, und wird die Tiefe $z'$, für die $\frac{du}{dz} = 0$, durch Interpolation gefunden, so hat man infolge von (9)

$$\eta = -\frac{Q_{z'}}{z'}.$$

Zur Bestimmung von Q für die Tiefe $z'$ dienen die Tab. 39 angeführten Integrale, die durch graphische Interpolation und Integration auf Grund der Tab. 39 angeführten Werte von $\frac{d\rho}{dx}$, deren Berechnung früher erwähnt wurde, gefunden sind.

Im vorliegenden Falle ist $\frac{du}{dz} = 0$ für die Tiefe 17,5 m, also $z' = 1750$ cm. Für die Tiefe finden wir

$$\int_0^z dz \int_0^z \frac{d\rho}{dx} \cdot dz = 197 \times 10^{-6},$$

woraus $Q = 0{,}193$.

Nach vorstehender Formel erhält man hieraus

$$\eta = -1{,}1 \times 10^{-4} \text{ Dyn/cm}^3,$$

also in guter Übereinstimmung mit den oben gefundenen Werten.

---

# BESTIMMUNG DER INNEREN REIBUNG IM GEWÄSSER BEI SCHULTZ'S GRUND

Gehen wir davon aus, dass die Reibung der Tiefe nach nur wenig schwankt, kann die Gleichung 5) zur Bestimmung der Reibung benutzt werden.

Bei dieser und den folgenden Anwendungen der entwickelten Gleichungen, in denen das Produkt $\rho \cdot u$ enthalten ist, setze ich $\rho = 1$, indem die Schwankung von $\rho$ verschwindend klein ist im Vergleich mit der von u.

Tab. 39 enthält $\frac{d^3u}{dz^3}$ und $\frac{d\rho}{dx}$, in der oben angegebenen Weise berechnet; die mittels dieser Grössen berechneten Werte von $\mu_u$ sind Tab. 40 angeführt.

Unter der Voraussetzung, dass $\mu_u$ für das Intervall $3^1/_4$ m bis $11^1/_4$ m Tiefe konstant ist, erhalten wir mittels der Gleichung (6) und den Tab. 39 aufgeführten Werten von $\frac{d^2u}{dz^2}$ und $\int_0^z \frac{d\rho}{dx} \cdot dz$

$$\mu_u = 3{,}0.$$

$\mu$ lässt sich auch nach der allgemeinen Formel (9) bestimmen. Gehen wir davon aus, dass $\eta = -1{,}1 \times 10^{-4}$, in Übereinstimmung mit dem im vorigen Abschnitt gefundenen, und dass $T = 0$, erhalten

*Tabelle 40.*

| Tiefe (Meter) ⟶ | 2,5 | 5,0 | 7,5 | 10,0 | 12,5 | 15,0 | 17,5 | 20,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\mu_u \cdot \frac{d^3u}{dz^3} = g \cdot \frac{d\rho}{dx}$ ($\mu_u$ konst.) | | 7 | | 2 | | 8 | | 27 |
| $\mu_u \left[\left(\frac{d^2u}{dz^2}\right)_{z_2} - \left(\frac{d^2u}{dz^2}\right)_{z_1}\right] = g \int_{z_1}^{z_2} \frac{d\rho}{dx} \cdot dz$; ($\mu_u$ konst.) | Von 3,25 m Tiefe bis 11,25 m $\mu_u = 3{,}0$. | | | | | | | |
| $\mu_u \cdot \frac{du}{dz} = Q + \eta z - T$; ($T=0$, $\eta = -1{,}1 \times 10^{-4}$) | 2,3 | 2,2 | 1,6 | 1,0 | − 0,1 | − 1,9 | unbest. | − 9,8 |
| do. ; ($T=0$, $\eta = -1{,}4 \times 10^{-4}$) | 3,1 | 3,1 | 2,7 | 2,2 | 1,9 | 3,8 | ∞ | − 24,8 |

wir auf diesem Wege Werte der inneren Reibung; diese sind gleichfalls Tab. 40 aufgeführt. Wählen wir für $\eta$ statt des Wertes $-1{,}1 \times 10^{-4}$ den mittleren Wert der im vorigen Abschnitt gefundenen $-1{,}4 \times 10^{-4}$, finden wir die gleichfalls Tab. 40 angegebenen Werte von $\mu_u$.

Die zu diesen Berechnungen notwendigen Werte von Q und $\frac{du}{dz}$ sind der Tab. 39 entnommen.

Obgleich die so gefundenen Werte von $\mu_u$ mehrere hundertmal so gross sind wie die Werte der inneren Reibung, die man gefunden hat[1]), wenn keine Vermischung stattfindet, sind sie doch nicht unwahrscheinlich und zeigen, dass die durch die Wirbelbildung hervorgerufene Vermischung im Meere die Hauptrolle spielt. Es ist auch nicht unwahrscheinlich, dass die Reibung im Bodenwasser grösser ist als in den obersten Schichten, da das Bodenwasser homogener ist als das darüber liegende; doch darf man den für die Tiefen von 17,5 und 20 m gefundenen Werten keine Bedeutung beilegen, da ein kleiner Fehler in der Bestimmung der Stromstärke in diesen Tiefen die Bestimmung von $\mu_u$ illusorisch macht. Dagegen stellen die Zahlen der Tabelle die innere Reibung in den obersten Schichten und der Übergangschicht ganz gut dar. Am wahrscheinlichsten sind wohl die auf Grund von $\eta = -1{,}4 \times 10^{-4}$ berechneten Werte, aber sowohl was diesen Wert als was $\eta = -1{,}1 \times 10^{-4}$ betrifft, zeigt die Schwankung von $\mu$, dass sich in der Übergangsschicht ein Minimum der inneren Reibung findet, das sich natürgemäss als davon herrührend erklären lässt, dass die Vermischung in dieser Wasserschicht wegen der starken Zunahme des spezifischen Gewichts mit der Tiefe verhältnismässig gering ist.

Man muss sieh jedoch erinnern, dass das hier entwickelte auf Betrachtungen beruht, denen die Schwankung des mittleren Stroms mit der Tiefe zu Grunde gelegt sind, und venn die Frage über die innere Reibung einer eingehenderen Behandlung unterzogen werden soll, wird es am richtigsten sein, das Problem zu spezialisieren, so dass die Stärke der vorwärts- und rückwärtsgehenden Bewegungen und die durch diese allein bewirkte Ausgleichung berücksichtigt werden.

---

## BESTIMMUNG DER MISCHUNGSINTENSITÄT $\mu_s$

Der Gleichung (2) analog hat man für den Salzgehalt einer Wasserpartikel die dem Strom folgt,

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d\mu_s \frac{dS}{dz}}{dz},$$

indem das spezifische Gewicht des Wassers gleich 1 gesetzt wird; da man aber zugleich

$$\frac{dS}{dt} = u \cdot \frac{dS}{dx},$$

hat, erhält man

$$\frac{d\mu_s \cdot \frac{dS}{dz}}{dz} = u \cdot \frac{dS}{dx}. \tag{12}$$

Wird diese Gleichung integriert, hat man

$$\mu_s \cdot \frac{dS}{dz} = \int_0^z u \cdot \frac{dS}{dx} \cdot dz + C'''.$$

Da $\mu_s \cdot \frac{dS}{dz}$ die Vermehrung der Salzmenge bezeichnet, die pro Sekunde über der Schicht in der Tiefe z entsteht, muss diese Vermehrung also bei $z = 0$ selbst 0 sein; man hat dann

[1]) Siehe Krümmel: Handbuch der Oceanographie Bd. I, S. 282.

$$\mu_s \cdot \frac{dS}{dz} = \int_0^z u \cdot \frac{dS}{dx} \cdot dz. \qquad (13)$$

Ist sowohl die horizontale als die vertikale Salzgehaltverteilung bekannt, so dient diese Gleichung zur Bestimmung von $\mu_s$.

Die zur Berechnung notwendigen Grössen aus dem Gewässer bei Schultz's Grund finden sich Tab. 41.

*Tabelle 41.*

| Tiefe | Salzgehalt S Da 21 | Salzgehalt S Schultz's Grund | $\frac{dS}{dz} \cdot 10^4$ | $\frac{dS}{dx} \cdot 10^8$ | u | $u \cdot \frac{dS}{dx} \cdot 10^7$ | $10^4 \int_0^z u \cdot \frac{dS}{dx} \cdot dz$ | $\mu_S$ | $\mu_u$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 18,23 | 18,1 | 00 | 15 | 7,8 | 12 | 0 | | |
| 2,5 | | | 10 | 24 | 6,4 | 15 | 3 | 0,3 | 3,1 |
| 5,0 | 19,11 | 18.6 | 15 | 28 | 3,2 | 9 | 6 | 0,4 | 3,1 |
| 7,5 | | | 38 | 29 | — 1,7 | — 5 | 7 | 0,18 | 2,7 |
| 10,0 | 19,99 | 20,5 | 80 | 23 | — 7,6 | — 17 | 4 | 0,05 | 2,2 |
| 12,5 | | | 140 | — 25 | — 13,3 | 33 | 6 | 0,04 | 1,9 |
| 15,0 | 26,81 | 26,7 | 110 | — 59 | — 16,6 | 98 | 22 | 0,20 | 3,8 |
| 17,5 | | | 62 | — 52 | — 17,8 | 93 | 46 | 0,74 | — |
| 20,0 | 31,26 | 29,8 | 30 | — 30 | — 17,4 | 52 | 64 | 2,1 | — |
| 22,5 | | | 12 | | | | | | |
| 25,0 | | | 00 | | | | | | |
| 26 | | 30,5 | | | | | | | |
| 30 | 32,29 | | | | | | | | |

Zur Bestimmung der vertikalen Salzgehaltverteilung wurden mittlere Zahlen für jede Tiefe (0, 5, 10 u. s. w. Meter) aller täglichen Salzgehaltbeobachtungen benutzt, die in der Periode vom $^1/_3$ 1910 bis $^{28}/_2$ 1911 vom Meteorologischen Institut von Schultz's Grund Feuerschiff aus ausgeführt wurden. Diese mittleren Zahlen finden sich Tab. 41; ausserdem sind hier angeführt mittlere Zahle, der Salzgehalte der Quartalsmessungen von der Station Da 21, indem erst mittlere Zahlen der einzelnen Quartale und dann mittlere Zahlen aus diesen Quartalsmitteln gebildet wurden; die Abweichungen zwischen den beiden Reihen von mittleren Zahlen sind nicht besonders gross; da aber die Messungen von Da 21 so gering an Zahl sind im Verhältnis zu den Messungen von Schultz's Grund Feuerschiff und diese eben aus der Periode gewählt werden können, in der die Strommessungen angestellt wurden, sind die Messungen vom Feuerschiff aus bei der Berechnung von $\frac{dS}{dz}$ zu Grunde gelegt, indem erst eine graphische Interpolation stattgefundet hat.

Die in der Tabelle angeführten Werte von $\frac{dS}{dx}$ sind auf Grund der Quartalsmessungen an den Stationen Da 20 und Da 21 in ähnlicher Weise berechnet wie $\frac{d\rho}{dx}$ Tab. 39. Endlich sind die Werte des Stroms u für die Tiefen 0, $2^1/_2$, 5, 10 u. s. w. Meter aufgeführt, in ähnlicher Weise berechnet wie die in Tab. 39 angegebenen Werte des Stromes.

Die beiden letzten Kolumnen der Tab. 41 enthalten die berechneten Werte von $\mu_S$ und zum Vergleich damit die Werte von $\mu_u$ aus Tab. 40.

Wie man sieht, weisen die beiden Grössen $\mu_s$ und $\mu_u$ einigermassen gleichmässige Schwankung der Tiefe nach auf mit verhältnismässig kleinen Werten in der Sprungschicht, aber $\mu_u$ ist bedeutend grösser als $\mu_s$ (ca. 10—15 mal).

Das Beobachtungsmaterial, welches diesen Bestimmungen zu Grunde liegt, hat nur eine geringe Sicherheit, und dies ist wesentlich durch den Umstand verursacht, dass die Messungen von Temperatur

und Salzgehalt nur wenige Male ausgeführt sind, und zwar zu solchen Zeitpunkten, dass man sie nur in erster Annäherung zum Vergleich der Mittelwerte der Strommessungen benutzen kann. Ein Versuch, dieselben Berechnungen für Quartale durchzuführen hat gezeigt, dass eine Teilung des Materials nicht übereinstimmende Resultate ergab.

Da ich somit darauf hingewiesen war, die Mittelwerte des vorliegenden Materials zu benutzen, hat es sich als natürlich herausgestellt, das Gewicht auf die Bestimmung von $\mu_s$ zu legen, indem die Variation der jährlichen Mitteltemperatur nach Ort und Tiefe nur gering ist und sich daher für eine Bestimmung von $\mu_T$ nicht eignet.

## METHODE ZUR BESTIMMUNG DES STROMS IN DER TIEFE

Wir haben vorausgesetzt, dass sowohl die Bewegungsmengen als z. B. die Salzgehalte durch die nämlichen Bewegungen im Wasser von Schicht auf Schicht übertragen werden, und dass der Unterschied nur der ist, dass die Bewegungsmengen so zu sagen schneller absorbiert werden als die Salzgehalte, indem die Schichten ineinander eingreifen. Wo man zu den verschiedenen Zeiten mit einigermassen gleichartigen Bewegungen zu tun hat, darf man somit vielleicht erwarten, dass die beiden, diese »Absorptionen« ausdrückenden Zahlen $\mu_u$ und $\mu_s$ ein so konstantes Verhältnis aufweisen werden, dass man dies besser allgemeinen Berechnungen zu Grunde legen kann als die Grössen $\mu_u$ und $\mu_s$ selbst. Dies gilt wahrscheinlich besonders, wo für die Bildung mittlerer Zahlen ein grösseres Material vorliegt.

Setzen wir das Verhältnis $\frac{\mu_u}{\mu_s} = \alpha$, so erhalten wir mittels Gleichung (9) und (13), indem $\rho u = u$ gesetzt wird,

$$\frac{du}{dz}\int_0^z u \cdot \frac{dS}{dx} \cdot dz = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{dS}{dz} (Q + \eta z - T). \tag{14}$$

Die oben definierte Grösse $\alpha$ setze ich als in dem Gebiete bekannt voraus, auf welches die Gleichung (14) angewendet werden soll; sie kann entweder durch frühere Messungen bestimmt worden sein, oder man kann möglicherweise aus analogen Zuständen an anderen Orten im Meere schliessen, wie gross sie ist.

Die Gleichung (14) enthält ferner, ausser der unbekannten Grösse u, Grössen, die sich aus Temperatur und Salzgehaltverteilung berechnen lassen, sowie die beiden Konstanten $\eta$ und T, die sich auf die Oberfläche beziehen. Diese Konstanten nebst Temperatur und Salzgehaltverteilung werden als bekannt vorausgezetzt.

Da $\frac{dS}{dz}$ und $\int_0^z \frac{dS}{dx} \cdot dz$ beide an der Oberfläche 0 sind, kann die Gleichung nicht zur Bestimmung von $\frac{du}{dz}$ an der Oberfläche dienen; wird der Strom z. B. in $2^1/_2$ m Tiefe als bekannt vorausgesetzt, kann $\frac{du}{dz}$ in dieser Tiefe durch die Gleichung bestimmt werden und somit u in 5 m Tiefe; demnächst kann $\frac{du}{dz}$ in dieser Tiefe bestimmt werden und somit u in 7,5 m Tiefe u. s. w.; die in den einzelnen Fällen aus praktischen Rücksichten auzuwendenden Differenzen für die Tiefen, sind natürlicherweise von der Beschaffenheit der Verhältnisse abhängig; wie man sieht, besteht aber die Möglichkeit, den Strom in der Tiefe in dieser Weise zu bestimmen.

Gehen wir endlich davon aus, dass sowohl $\mu_u$ als $\mu_s$ konstant sind, erhalten wir aus den Gleichungen (9) und (12)

$$u \cdot \frac{d\rho u}{dz} = \frac{1}{\alpha} \frac{\frac{d^2S}{dz^2}}{\frac{dS}{dx}} \cdot (Q + \eta z - T),$$

und durch Integration hieraus, indem $\rho = 1$:

$$u^2 - u_0^2 = \frac{2}{\alpha} \cdot \int_0^z \frac{\frac{d^2S}{dz^2}}{\frac{dS}{dx}} (Q + \eta z - T) \cdot dz.$$

# DIE GEZEITENWELLE IM KATTEGAT

In den vorhergehenden Abschnitten ist der mittlere Wert der beobachteten Ströme behandelt worden; da indessen die Beobachtungen zu jeder vierten Stunde des Tages angestellt sind, besitzen wir die Mittel zur Untersuchung der Gezeitenperiode des Stroms.

Eine solche Untersuchung soll im folgenden angeführt werden, indem wir uns doch, was die Ströme betrifft, auf die Hauptkomponenten beschränken und uns mit einer Untersuchung der Hauptperiode $M_2$ begnügen werden. Was die im Langelandsbelt gefundenen Perioden betrifft, verweisen wir auf den darüber veröffentlichten Bericht[1]).

Harmonische Konstanten des Gezeitenstroms im Kattegat und Grossen Belt

In der untenstehenden Tab. 42 sind unter $u_0$ und $\varkappa$ die Amplitude und die $\varkappa$-Zahl der Gezeitenperiode $M_2$ aufgeführt, indem der Strom als positiv gegen das Kattegat gerechnet wird und ausgedrückt ist durch die Formel $u = u_0 \cos(kt - \varkappa)$, wo t von dem Zeitpunkt aus gerechnet ist, da der fingierte Mond kulminiert. $u_0$ ist in cm/sec, $\varkappa$ in Graden ausgedrückt.

*Tabelle 42.*

| Tiefe | Anholt Knob 17/6—17/9 1910 | | Schultz's Grund 1/3 1910—28/2 1911 | | Lappegrunden 1/9—22/11 1909 | | Langelandsbælt 1/6—27/6 1909 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $u_0$ | $\varkappa$ | $u_0$ | $\varkappa$ | $u_0$ | $\varkappa$ | $u_0$ | $\varkappa$ |
| 0 | | | | | | | 19,0 | 297 |
| $2^1/_2$ | 11,8 | 51 | 11,2 | 92 | 3,1 | 47 | | |
| 5 | 11,8 | 48 | 11,2 | 86 | 5,6 | 60 | 18,4 | 279 |
| 10 | 7,9 | 64 | 10,8 | 81 | 6,4 | 67 | 15,7 | 276 |
| 15 | 7,8 | 54 | 8,9 | 76 | 5,5 | 69 | 13,6 | 267 |
| 20 | 8,2 | 48 | 8,6 | 74 | 3,1 | 58 | 13,2 | 249 |
| 25 | 6,9 | 33 | 7,1 | 70 | 3,7 | 50 | 11,0 | 225 |
| 30 | | | | | (in der Tiefe von 23 m) | | 8,9 | 213 |
| 35 | | | | | | | 7,2 | 213 |

[1]) Meddelelser fra Kom. for Havunders. Bd. I, Nr. 14.

Bei der Berechnung der Konstanten von Tab. 42 sind die beobachteten Ströme in auswärtsgehende und einwärtsgehende geteilt, d. h. in Ströme, deren Hauptrichtung bezw. gegen das Skagerak und die Ostsee hin verläuft; innerhalb jeder Gruppe sind die einzelnen Ströme auf eine mittlere Richtung projiziert, und bei der Aufstellung der Zahlen von Tab. 42 ist nur mit diesen Projektionen gerechnet.

Wenn die Hauptrichtungen auch nicht in die Verlängerung voneinander fallen, was nicht bei Schultz's Grund und Anholt Knob der Fall ist, so sind die Projektionen auf diese Richtungen bei der Bildung der mittleren Zahlen für die harmonische Analyse doch als entgegengesetzt gerichtete Ströme betrachtet worden.

Was die Grenzen der auswärtsgehenden und einwärtsgehenden Ströme bei Schultz's Grund und Anholt Knob, sowie die Lage der Hauptrichtungen betrifft, wird auf S. 64 und 65 verwiesen.

Die Richtung der auswärts- und einwärtsgehenden Ströme bei Lappegrunpen ist als entgegengesetzt gerichtet angenommen, N 30 W—S 30 O, und auf diese Richtungen sind die beobachteten Ströme projiziert.

Bei der Bildung der mittleren Zahlen für die harmonische Analyse wurden die Projektionen der Ströme auf die Hauptrichtungen — die Hauptkomponenten — in 12 Rubriken geordnet nach den ganzstündigen Zeitpunkten nach Mondzeit, denen sie zunächst lagen, und aus den Beobachtungen jeder Rubrik wurden mittlere Zahlen gebildet.

Da die Richtung der Ströme an den Orten, wo die Messungen stattfanden, durch die Richtung des Gewässers recht gut bestimmt ist, kann man von der Wirkung absehen, welche die Erdrotation auf den Strom ausübt, indem diese nur bewirken wird, dass der Wasserspiegel in der Querrichtung des Hauptstroms sich im Verhältnis zur Niveaufläche etwas schräge stellt.

Amplitude und $\varkappa$-Zahl des Wasserstandes, aus den entsprechenden Grössen des Gezeitenstroms berechnet

Die Annahme liegt nahe, dass sich die Gezeitenbewegung wie eine freie Welle durchs Kattegat verpflanzt, indem die Anregung von der Gezeitenbewegung im Skagerak herrührt; in dem Falle wird das Maximum von Stromgeschwindigkeit und Wasserstand gleichzeitig sein; ferner kann man, wenn die Tiefe (d) bekannt ist, aus dem Maximalwert der Stromgeschwindigkeit das Maximum des Wasserstandes berechnen[1]; nennen wir den Strom u und den Wasserstand h, beide vom mittleren Wert als Nullpunkt aus gerechnet, so hat man

$$h = \sqrt{\frac{d}{g}} \cdot u;$$

g ist die Acceleration 9,81 m.

*Tabelle 43.*

| Station | $h_0$ cm | $\varkappa$ | d Meter | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|
| Frederikshavn | 12,2 | 161 | | Nach C. Crone |
| Varberg | 3,8 | 229 | | — |
| Anholt Knob | 19,2 | 233 | 40 | Aus dem Strom berechnet |
| Schultz's Grund | 14,5 | 262 | 20 | — |
| Lappegrunden | 6,8 | 240 | 20 | — |
| Aarhus | 13,6 | 305 | | Nach C. Crone |
| Hornbæk | 6,8 | 260 | | — |
| Fredericia | 11,6 | 335 | | — |
| Korsør | 10,7 | 10 | | — |
| Slipshavn | 12,0 | 2 | | — |
| Langelandsbelt | 22,9 | 94 | 20 | Aus dem Strom berechnet |

[1]) Siehe z. B. Van der Stok — Herman: Elementare Theorie der Gezeiten u. s. w. Ann. d. Hydrographie 1911, S. 306.

C. Crone[2]) hat eine harmonische Analyse der Wasserstandbeobachtungen von einer Reihe von Stationen der dänischen Gewässer aus ausgeführt, und indem wir uns hier ausschliesslich an die Hauptperiode des Monds $M_2$ halten, haben wir Tab. 43 die von Crone gefundenen Werte $h_0$ des Wasserstandes nebst dessen $\varkappa$-Zahlen an den Stationen aufgeführt, die sich mit den Stationen vergleichen lassen, wo die Strommessungen stattfanden.

Der Maximalwasserstand an den Stationen, wo die Strommessungen ausgeführt wurden, ist aus der mittleren Zahl des Maximalstroms in den Tiefen 0—20 m nach obenstehender Formel berechnet und gleichfalls Tab. 43 angeführt, indem die mittlere Tiefe zu dem in der Tabelle angeführten Wert d angesetzt ist.

Wahrscheinlich erhält man den besten Ausdruck zur Berechnung der Maximalhöhe, wenn man auftretender interner Wellen wegen, wovon später ein weiteres, in der angegebenen Weise mittlere Zahlen bildet.

Die $\varkappa$-Zahlen für den Strom in Tab. 43 sind berechnet als Mittelzahlen von den $\varkappa$-Zahlen in Tab. 42 für die Tiefen 0—20 Meter $+ 180^0$, indem der Zeitpunkt für den Maximalwasserstand mit demjenigen Zeitpunkt zu vergleichen ist, wo der einwärtsgehende Strom sein Maximum erreicht hat.

Sie stimmen recht gut mit den $\varkappa$-Zahlen des Wasserstandes nahe gelegener Stationen; dagegen ist der aus dem Strom berechnete Maximalwasserstand grösser als zu erwarten; doch darf man vielleicht annehmen, dass die Unübersteinstimmung von der unregelmässigen Form des Gewässers herrührt. Die Angaben der Tiefe sind zudem nur annäherungsweise mittlere Werte, so dass der berechnete Wert auch dadurch unsicher wird.

Die Geschwindigkeit der Gezeitenwelle

Die Geschwindigkeit der langen, sich frei bewegenden Wellen ist, wie bekannt, ausgedrückt durch die Formel

$$u = \sqrt{g \cdot d},$$

wo d die Tiefe und g die Acceleration ist.

Tabelle 44 enthällt einen Vergleich des durch die Formel gefundenen Wertes und des aus dem Phasenunterschied gefundenen Wertes auf den Strecken Anholt Knob—Schultz's Grund, Anholt Knob—Lappegrunden und Schultz's Grund—Langelandsbelt.

Die Entfernungen zwischen den genannten Orten sind nach den Bogenlinien gemessen, denen die Gezeitenwelle annehmbar folgt; die mittleren Tiefen der genannten Strecken sind nach einer Seekarte abgeschätzt.

*Tabelle 44.*

| Strecke | Länge km | Mittlere Tiefe m | Aus dem Phasenunterschied gefundene Geschwindigkeit cm/sec | Aus $u = \sqrt{gd}$ berechnete Geschwindigkeit cm/sec |
|---|---|---|---|---|
| Anholt Knob—Schultz's Grund . . | 85 | 30 | 2360 | 1720 |
| Anholt Knob—Lappegrunden . . . | 95 | 30 | 10930 | 1720 |
| Schultz's Grund—Langelandsbelt . | 150 | 20 | 630 | 1400 |

Aus Tab. 44 sieht man, dass die beobachtete und die berechnete Geschwindigkeit auf der Strecke Anholt Knob—Schultz's Grund recht gut übereinstimmt. Auf dem Wege durch den Grossen Belt ist die Gezeitenwelle dagegen aufgehalten worden, so dass ihre Geschwindigkeit nur ca. halb so gross ist wie berechnet. Die Verspätung hat jedoch sicherlich im wesentlichen auf der Strecke von Korsør—Slipshavn bis Spodsbjerg stattgefunden; wenn man nämlich mit dem Phasenunterschied von Schultz's Grund und Korsør—Slipshavn rechnet, indem man die Wasserstandmessungen von letzteren Orten benutzt, so erhält man auf dieser Strecke eine Geschwindigkeit von ca. 800 cm/sec.

[2]) C. Crone: Flux et reflux des mers, qui environnent le Danemark etc. Rapport sur les travaux du service maréographique. Institut météorologique de Danemark. Copenhaque, 1906.

Recht sinnlos scheint die auf der Strecke Anholt Knob—Lappegrunden gefundene Geschwindigkeit, was auch unmittelbar aus dem geringen Phasenunterschied zwischen den beiden Orten erhellt.

Wird die $\varkappa$-Zahl der Wasserstandsmessungen bei Hornbæk zum Vergleich mit der $\varkappa$-Zahl des Maximalstromes bei Anholt Knob benutzt, sieht man, dass die Phasenverschiebung nach Tabelle 43 27° ausmacht; diese Phasenverschiebung gibt eine Geschwindigkeit der Welle, die beinahe der für die Strecke Schultz's Grund—Anholt Knob gefundenen gleich ist.

Zu bemerken ist, dass die bei der harmonischen Analyse angewandten mittleren Zahlen der Ströme in den oberen Schichten grössere Abweichungen von den ausgeglichenen Werten aufwiesen, als es bei den übrigen Feuerschiffen der Fall war.

Wenn es auch nicht möglich ist, einen einzelnen mathematischen Ausdruck der Gezeitenbewegung in den dänischen Gewässern aufzustellen, indem die von der Natur gegebenen Verhältnisse wie in den grossen Meeren störend eingreifen, meine ich doch, dass man annäherungsweise davon ausgehen darf, dass die Gezeitenbewegung durchs Kattegat und den Grossen Belt eine freie Wellenbewegung ist.

Es besteht indessen, wie Tab. 42 zeigt, ein Unterschied zwischen Amplitude und $\varkappa$-Zahl an der Oberfläche und am Boden, während die freie Wellenbewegung langer Wellen in einer idealen Flüssigkeit von gleichmässiger Tiefe erfordert, dass Amplitude und Phase in allen Tiefen dieselben seien.

Das Maximum des Gezeitenstroms tritt früher am Boden ein als an der Oberfläche

An allen Orten, wo Messungen angestellt wurden, ist die Amplitude der Bewegung der Wasserteile kleiner am Boden als an der Oberfläche (5 m Tiefe), während der Strom sein Maximum früher in der Tiefe erreicht als an der Oberfläche.

Dass die Gezeitenwelle in der Tiefe früher kommt als an der Oberfläche hat sich auch an anderen Orten herausgestellt. So hat Helland-Hansen [1]) bei Messungen auf der Ling Bank (58° 17′ N. Br. 2° 27′ Ö. L.) in der Nordsee, wo die Tiefe 78 m beträgt, gefunden, dass der Strom in 50 und 75 m Tiefe seine Maximalgeschwindigkeit ca. 1 Stunde früher erreicht als in 2—20 m Tiefe. Zu ähnlichen Resultaten kam Pettersson [2]) bei Strommessungen im Grossen Belt. Im Resumé der unten zitierten Abhandlung findet sich u. a. folgendes von den Gezeitenströmen im Grossen Belt:

Dieses Wachsen des Unterstroms, welches von der Flutwelle hervorgebracht wird, staut und hemmt zweimal täglich einen Teil der Wassermassen des ausfliessenden Baltischen Stroms, vermag jedoch nur die tieferen Schichten (10 m Tiefe) rückwärts zu treiben, während dies mit den oberen Schichten nicht immer der Fall ist.

*Tabelle 45.*

| Tiefe | Anholt Knob 17/6—16/9 1910 | Schultz's Grund 1/3 1910—28/2 1911 | Lappegrunden 1/9—22/11 1909 | Langelandsbelt 1/6—27/6 1909 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | | | | 35,5 |
| $2^1/_2$ | 1,7 | 6,7 | 29,9 | |
| 5 | —2,3 | 3,2 | 19,0 | 27,6 |
| 10 | —4,3 | — 7,7 | —11,5 | 11,8 |
| 15 | —5,1 | —16,5 | —15,4 | — 2,3 |
| 20 | —4,3 | —17,3 | —13,6 | —15,3 |
| 25 | —3,9 | —13,7 | —11,0 in 23 m Tiefe | —13,9 |
| 30 | | | | —12,8 |
| 35 | | | | — 9,1 |

Pettersson legt dem Strom in der Tiefe die grösste Bedeutung bei. Tatsächlich ist, wie aus Tab. 42 hervorgeht, die Amplitude des Stroms am grössten in den oberen Schichten, und dass der Strom in

[1]) B. Helland-Hansen: Current-measurements in 1906. Bergens Musæums Aarbog 1907. Nr. 15, S. 18.

[2]) O. Pettersson: Strömstudier ved Östersjöns portar. Stockholm 1907. Resumé S. V. Svenska hydr. biol. Komm. Skrifter III.

diesen Schichten dennoch des Gezeitenstroms wegen nicht die Richtung verändert, beruht darauf, dass der Strom in diesen Schichten in der kurzen Zeit, über die Petterssons Messungen sich erstrecken, verhältnismässig gross war.

Tab. 45 enthält den mittleren Wert des Stroms in verschiedenen Tiefen an den früher genannten Orten. Die mittleren Werte sind aus den Hauptkomponenten gebildet und in cm/sec mit positiver Richtung von der Ostsee her ausgedrückt.

Die Messungen von Schultz's Grund erstrecken sich über ein ganzes Jahr, und man sieht, dass der mittlere Wert des Stroms in $2^1/_2$ m Tiefe hier kleiner ist als die Amplitude des Gezeitenstroms (Tab. 42); dagegen hat der einwärtsgehende Strom in der Tiefe einen recht bedeutenden Wert. Ähnliche Verhältnisse finden sich bei Lappegrunden und im Langelandsbelt; hier ist jedoch der auswärtsgehende Strom in der Oberflächenschicht stärker.

*Tabelle 46.*

| Salzgehalt der Isohalinfläche ‰ | Mittlere Tiefe m | $S_2$ | | $M_2$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Amplitude in cm | ϰ-Zahl | Amplitude in cm | ϰ Zahl |
| 20 | 12,7 | 37 | 266 | 22 | 311 |
| 24 | 15,6 | 24 | 292 | 16 | 316 |
| 26 | 17,0 | 39 | 300 | 33 | 323 |
| 28 | 19,0 | 34 | 295 | 30 | 293 |

Hebung und Senkung der Isohalinflächen

In Verbindung mit den Strommessungen hat Pettersson nachgewiesen, dass sich im Grossen Belt Hebungen und Senkungen in der Lage der Isohalinflächen finden, namentlich in der der 32 ‰ Isohalinfläche (bei Refsnæs), und von diesen Hebungen und Senkungen heisst es a. a. O.:

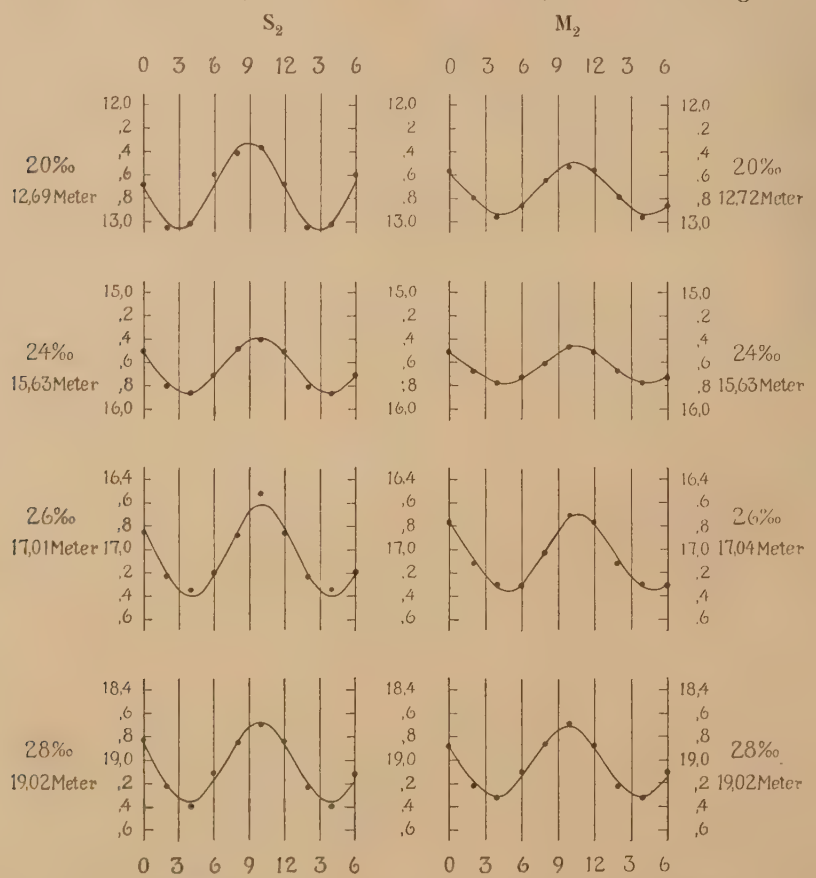



Fig. 15. Hebung und Senkung der Isohalinflächen im Langelandsbelt. Die Zahlen an den Massstäben bezeichnen Meter.

»Man könnte diese Erscheinung als den wirklichen Umfang der Flut im Gr. Belt bezeichnen, denn der Oberstrom hat in dieser Meerenge, wie wir es gesehen, nur sehr wenig mit Ebbe und Flut zu tun. Ebbe und Flut beruht einzig und allein auf der Einwirkung des Ozeans und beherrscht den Unterstrom, aber nicht das Mischwasser des Baltischen Oberflächenstroms, welch letzteres nur von der vom Kattegat hereinstürzenden Flutwelle emporgehoben und aufgestaut wird«.

Nachdem dargetan worden ist, dass der Gezeitenstrom in allen Tiefen einigermassen derselbe ist und nur in der Nähe des Bodens schwächer wird, lässt sich die im obigen Zitat gegebene Erklärung der Hebungen und Senkungen der Isohalinflächen nicht aufrecht erhalten.

Es ist indessen unzweifelhaft, dass sich solche Niveauveränderungen von Isohalinflächen derselben Periode wie die Gezeitenwelle, wie von Pettersson nachgewiesen, tatsächlich finden; bei den Messungen im Langelandsbelt im Juni 1909 fanden sich die Tab. 46 aufgeführten Amplituden und ϰ-Zahlen der Höhe der Isohalinflächen über dem mittleren Niveau, für die Sonnenperiode $S_2$ und die Mondperiode $M_2$ geltend. Die angeführten ϰ-Zahlen entsprechen der Maximalhöhe der Isohalinfläche.

Die Werte der Tab. 46 wurden gefunden, indem für jede Reihe von Beobachtungen aus den verschiedenen Tiefen eine Kurve gezeichnet wurde, welche die Abhängigkeit des Salzgehalts von der Tiefe darstellte. An diesen Kurven wurden dann die Tiefen abgelesen, in denen die angeführten Salzgehalte sich zu den verschiedenen Zeiten fanden; es wurden täglich 6 Beobachtungsreihen angestellt, und bei jeder einzelnen Beobachtungsreihe wurde dafür gesorgt, dass einige der Beobachtungen in die Nähe derjenigen Isohalinflächen fielen, deren Lage man zu bestimmen wünschte, die Salzgehaltbestimmungen fanden teils durch Aräometermessung teils durch Titrierung statt. Die an den Kurven abgelesenen Tiefen wurden sodann als Ordinaten auf Millimeterpapier abgesetzt mit der Zeit als Abszisse; durch die Punkte wurden ausgeglichene Kurven gezeichnet, an denen schliesslich die Lage der Isohalinflächen von 12, 2, 4, 6 . . . Uhr teils nach Sonnenzeit, teils nach Mondzeit abgelesen wurden. Aus dem abgelesenen wurden in gewöhnlicher Weise mittlere Zahlen zur harmonischen Analyse gebildet. Die mittleren Zahlen und die ausgeglichenen Kurven sind Fig. 15 graphisch dargestellt; die Figur ist somit zugleich eine graphische Darstellung von Tab. 46. Es verdient bemerkt zu werden, dass die Amplitude von $S_2$ grösser ist als die von $M_2$, während die $\varkappa$-Zahlen beider Perioden ungefähr dieselben sind.

*Tabelle 47.*

| | Læsø Rende 10 Meter | | | Læsø Trindel 10 Meter | | | Kobbergrunden 10 Meter | | | Anholt Knob 15 Meter | | | Schultz's Grund 15 Meter | | | Lappegrunden 15 Meter | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | R | | $\varkappa$ | R | | $\varkappa$ | R | | $\varkappa$ | R | | $\varkappa$ | R | | $\varkappa$ | R | | $\varkappa$ |
| | ‰ | cm | | ‰ | cm | | ‰ | cm | | ‰ | cm | | ‰ | cm | | ‰ | cm | |
| Januar . . . | 0,23 | 60 | 167 | 0,37 | 180 | 67 | 0,57 | 100 | 90 | 0,56 | 100 | 147 | 0,73 | 120 | 16 | 0,26 | 40 | 229 |
| Februar . . | 0,39 | 140 | 246 | 0,57 | 260 | 17 | 0,38 | 80 | 213 | 0,25 | 40 | 264 | 0,26 | 50 | 224 | 0,38 | 80 | 219 |
| März . . . . | 0,42 | 70 | 232 | 0,92 | 130 | 317 | 1,98 | 200 | 184 | 0,72 | 60 | 220 | 1,06 | 110 | 70 | 0,10 | 10 | 41 |
| April . . . . | 1,43 | 140 | 180 | 1,14 | 130 | 314 | 1,70 | 120 | 179 | 0,73 | 60 | 249 | 0,81 | 60 | 73 | 0,64 | 80 | 87 |
| Mai . . . . . | 0,80 | 90 | 218 | 1,29 | 120 | 330 | 2,16 | 150 | 201 | 0,59 | 40 | 170 | 1,65 | 120 | 97 | 0,13 | 10 | 276 |
| Juni . . . . . | 0,66 | 70 | 208 | 1,44 | 130 | 331 | 2,13 | 130 | 193 | 0,44 | 40 | 259 | 0,91 | 70 | 105 | 0,55 | 30 | 162 |
| Juli . . . . . | 0,27 | 40 | 251 | 0,85 | 170 | 339 | 1,50 | 240 | 245 | 0,26 | 30 | 157 | 1,17 | 70 | 105 | 0,78 | 50 | 206 |
| August . . . | 0,51 | 130 | 274 | 0,60 | 170 | 98 | 0,41 | 90 | 170 | 0,07 | 10 | 242 | 1,35 | 80 | 130 | 0,47 | 50 | 68 |
| September . | 0,43 | 60 | 331 | 1,48 | 300 | 12 | 0,47 | 80 | 297 | 0,29 | 30 | 216 | 1,02 | 140 | 130 | 1,06 | 130 | 246 |
| Oktober . . | 1,27 | 130 | 234 | 0,73 | 90 | 14 | 1,52 | 140 | 215 | 0,55 | 40 | 110 | 1,25 | 100 | 75 | 1,25 | 170 | 77 |
| November . | 0,24 | 40 | 183 | 0,68 | 110 | 26 | 1,53 | 140 | 202 | 1,42 | 110 | 185 | 0,72 | 50 | 140 | 0,40 | 60 | 214 |
| Dezember . | 0,24 | 60 | 217 | 0,10 | 30 | 202 | 1,27 | 200 | 175 | 0,42 | 80 | 101 | 0,16 | 20 | 115 | 0,33 | 70 | 65 |
| Im Jahre . . | 0,45 | 70 | 221 | 0,64 | 100 | 351 | 1,15 | 120 | 198 | 0,36 | 40 | 188 | 0,78 | 50 | 100 | 0,15 | 20 | 155 |

Es war mir nicht möglich, diese Niveauveränderungen der Isohalinflächen mit den gleichzeitig beobachteten Strömen in Verbindung zu bringen, und um näher zu untersuchen, ob solche Niveauveränderungen auch im Kattegat eventuell im Zusammenhang mit den dort beobachteten Strömen vorkommen können, habe ich einige von den vom Meteorologischen Institut ausgeführten Beobachtungen des Salzgehalts bei den Feuerschiffen aus den Jahren 1903—1910 nach Mondzeit geordnet. Die Beobachtungen aus einer bestimmten Tiefe (10 oder 15 m) wurden in die Rubrik der Mondzeit eingetragen, zu der sie ausgeführt worden waren, und es wurde eine mittlere Zahl des Salzgehalts in der bestimmten Tiefe für jede volle Stunde 12, 1, 2, u. s. w. nach Mondzeit gebildet. Die Beobachtungen waren alle 8 Uhr Vorm. nach Sonnenzeit ausgeführt und verteilen sich somit gleichmässig über die verschiedenen Mondstunden. Aus den berechneten mittleren Zahlen wurden Amplitude und $\varkappa$-Zahlen der Salzgehaltschwankung in gewöhnlicher Weise berechnet. Die Berechnung umfasste die Beobachtungen von im ganzen 6 Feuerschiffen in der bezeichneten Periode.

Um von der Brauchbarkeit des Materials einen Begriff zu erhalten und um zugleich zu sehen, ob eine Abhängigkeit von der Jahreszeit existiert, wurde das Material nach Monaten geteilt, für welche Amplituden und $\varkappa$-Zahlen berechnet wurden. Die hierzu gehörige Tab. 47 und die graphische Darstellung Fig. 16 werden ohne Erklärung verständlich sein. Tab. 47 enthält ausser Amplitude des Salzgehalts eine Amplitude der Hebung der Isohalinfläche, in cm ausgedrückt; dieser Wert ist mittels einer graphischen Interpolation der Salzgehaltverteilung im mittleren Werte der betreffenden Periode gefunden und darf nur als annäherungsweiser Ausdruck betrachtet werden.

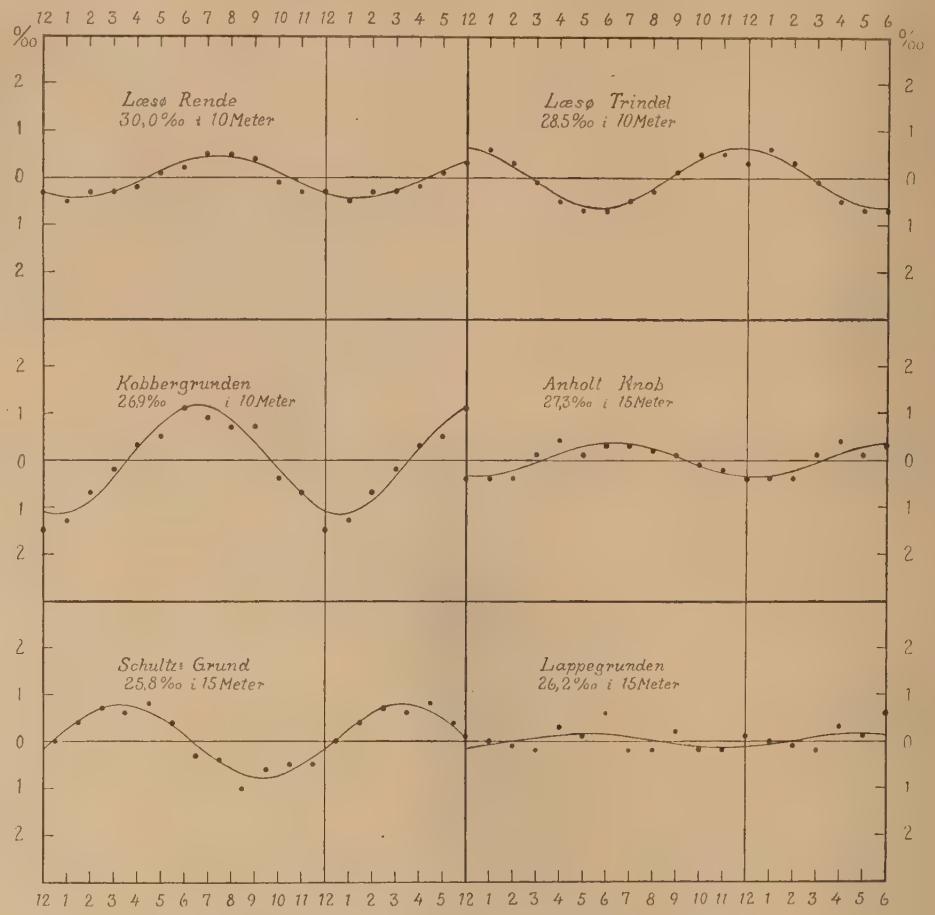



Fig. 16. Schwankung des Salzgehalts der Mondperiode $M_2$ gemäss.

Aus der Tabelle sieht man, dass die Amplitude der Salzgehaltschwankung durchgehends am grössten ist in den Monaten, in denen die Grenze zwischen Ober- und Unterschicht am schärfsten ist.

Die Niveauveränderung der Isohalinflächen und der Gezeitenstrom

Vergleicht man die $\varkappa$-Zahlen von Tab. 47 mit den $\varkappa$-Zahlen des Stroms oder der Maximalhöhe des Wasserstandes Tab. 43, scheint kein einfacher Zusammenhang vorhanden. Die Amplituden der Salzgehalte sind sehr verschieden; bei Kobbergrunden sind die Niveauveränderungen besonders gross; die Veränderung $2 \times 1{,}15\ ‰$, entpricht einem Unterschied zwischen der höchsten und der niedrigsten Lage der Isohalinfläche von ca. 2,4 m.

Es lag ja nahe, anzunehmen, dass die gefundenen Hebungen og Senkungen der Isohalinflächen von deren schräger Lage in Verbindung mit der durch den Gezeitenstrom erzeugten hin- und hergehenden Bewegung des Wassers herrühren.

Im Kattegat beträgt jedoch der Maximalstrom in der Mondperiode $M_2$ nicht viel mehr als 10 cm/sec, was bedeutet, dass die Wasserteile sich höchstens 0,7 km von der Gleichgewichtsstellung entfernen, und wenn die Stromamplitude von $M_2$ auch, wie es im Langelandsbelt der Fall ist, ungefähr das doppelte erreicht, wird man im allgemeinen die Hebungen und Senkungen nicht auf diesem Wege erklären können; dazu ist die Neigung der Isohalinflächen im allgemeinen zu gering.

Bei Kobbergrunden ist die Neigung der Isohalinflächen[1]) doch verhältnismässig gross und die Niveauveränderungen der Isohalinflächen gleichfalls gross; ihre Neigung geht in derselben Richtung wie die der nahe gelegenen Bank, da aber die Gezeitenbewegung hier der freieren Lage wegen möglicherweise einen

[1]) Siehe J. P. Jacobsen: Mittelwerte von Temperatur und Salzgehalt. Medd. fra Kom. for Havunders. Bd. I Nr. 10, Taf. II, III, IV, og V.

anderen Charakter hat als an den Orten, wo Strommessungen stattgefunden haben, mag möglicherweise ein engerer Zusammenhang zwischen der Phase des Gezeitenstroms und der Phase der Niveauveränderung der Isohalinflächen bestehen.

Ein solcher Zusammenhang scheint dagegen nicht an den Orten zu bestehen, wo die Strommessungen stattfanden. Man hätte nämlich zu erwarten, dass der einwärtsgehende Strom eine Hebung der Isohalinflächen bewirkte, und der Zeitpunkt ihrer Maximalhöhe müsste dann 90° später fallen als der Maximalwert des Stroms.

Statt dessen finden wir bei

| | |
|---|---|
| Anholt Knob ..... | 315° |
| Schultz's Grund ..... | 198° |
| Lappegrunden ..... | 275° |
| Spodsbjerg ..... | 217° |

Die $\varkappa$-Zahlen des einwärtsgehenden Maximalstroms sind der Tab. 43, die $\varkappa$-Zahlen der Maximalhöhe der Isohalinflächen den Tabb. 46 und 47 entnommen.

Diese Zahlen weisen nur wenig gegenseitige Übereinstimmung auf und liegen jedenfalls nicht in der Nähe des angenommenen Wertes von 90°. Der Wert von 275° bei Lappegrunden ist jedoch unsicher.

Die Hebung und Senkung der Isohalinflächen, durch interne Seiches erzeugt

Da indessen kein Zweifel darüber bestehen kann, dass die Hebung und Senkung der Isohalinflächen mit der Gezeitenbewegung in Verbindung stehen, muss man annehmen, dass sie zwar dadurch erzeugt sind, aber in verschiedener Weise je nach den lokalen Verhältnissen.

Wenn die Gezeitenwelle auf Verhinderungen wie Gründe oder Gewässerverengerungen stösst, entstehen Störungen in den Hauptbewegungen der Gezeit, die an demselben Orte immer in derselben Weise von statten gehen müssen. Von diesem Orte geht dann eine interne Welle aus, und wenn diese sich weiter verpflanzt mit einer Geschwindigkeit, die viel geringer ist als die Verpflanzungsgeschwindigkeit der Hauptbewegung, ist es nicht sonderbar, dass die Schwankung des zur Hauptbewegung gehörenden Stroms und die Schwankung der Isohalinflächenhöhe an dem Orte, wo die Messungen stattfinden, einen bestimmten Phasenunterschied aufweisen, aber dieser Phasenunterschied muss an den verschiedenen Orten verschieden sein.

Von dieser Auffassung aus wird es auch weniger unverständlich, dass die Sonnenperiode $S_2$ bei Spodsbjerg eine grössere Amplitude hat als die Mondperiode $M_2$.

Die Geschwindigkeit der Wasserteile in der interne Welle

Es wird von Wichtigkeit sein, zu entscheiden, inwiefern die Ströme, die durch die internen Wellen hervorgerufen werden, einige Bedeutung haben im Verhältnis zu den Strömen, die tatsächlich vorgefunden worden sind. Die Wellenbewegung an der Grenzfläche zwischen zwei Flüssigkeiten ist von Stokes und mehreren anderen Forschern behandelt worden; von ihnen hat Ekman [1]) die Theorie auf die speziellen Fälle angewandt, die beim sog. »toten Wasser« vorkommen.

Zur Lösung der verschiedenen praktischen Aufgaben benutzt man die Annäherungen, zu denen der vorliegende Fall berechtigt, so dass die Lösung je nach den vorliegenden Umständen verschieden aussieht.

In dem hier vorliegenden Fall der internen Wellen im Kattegat darf man davon ausgehen, dass die Dicke der zwei Wasserschichten von derselben Grössenordnung und klein im Verhältnis zu der Wellenlänge ist, so dass die Bewegung denselben Charakter hat wie »die langen Wellen« und die Bewegung der Wasserteile in horizontaler Richtung innerhalb jeder Wasserschicht in allen Tiefen dieselbe ist.

Setzen wir ferner voraus, dass die Bewegung eine solche ist, dass Wellen an der Oberfläche gebildet werden, die dieselbe Geschwindigkeit haben wie die Wellenbewegung in der Sprungschicht und dass die Wasserpartikeln in ihrer Gleichgewichtslage gleichzeitig sind sowohl an der Oberfläche als in der Sprungschicht, kann die Geschwindigkeit, mit der die interne Welle vorschreitet, durch einen Kunstgriff ausfindig gemacht werden, den Rayleigh angegeben und Lamb in seiner Hydrodynamik [2]) in ähnlicher Weise wie wir hier benutzt hat.

[1]) W. Ekman: On dead water in »The Norwegian North Polar Expedition«, Christiania 1904.

[2]) Horace Lamb: Lehrbuch der Hydrodynamik Übersetzt von Johannes Friedel, Leipzig 1907. § 174.

Man schreibt der ganzen Wassermasse eine gleichmässige Geschwindigkeit zu, der der Welle gleich, aber entgegengesetzter Richtung. Nun lassen sich alle Bewegungen als stationär behandeln. Wir benutzen folgende Bezeichnungen:

| | |
|---|---|
| Dicke der Oberschicht | $d_1$ |
| Spezifisches Gewicht der Oberschicht | $\rho_1$ |
| Erhebung der Oberfläche über die mittlere Lage | $\Delta_1$ |
| Druck an der Oberfläche | $p_1$ |
| Geschwindigkeit in der Oberschicht | $q_1$ |
| Druck unmittelbar über der Grenzschicht | $P_1$ |
| Dicke der Unterschicht | $d_2$ |
| Spezifisches Gewicht der Unterschicht | $\rho_2$ |
| Erhebung der Grenzschicht über die mittlere Lage | $\Delta_2$ |
| Druck unmittelbar unter der Grenzschicht | $P_2$ |
| Geschwindigkeit in der Unterschicht | $q_2$ |
| Geschwindigkeit der Wellenbewegung (zugeschriebene Geschwindigkeit) | $c$ |

Man hat dann:

$$\frac{p_1}{\rho_1} = \text{konst.} - g\Delta_1 - \tfrac{1}{2} q_1^2, \tag{1}$$

$$\frac{P_1}{\rho_1} = \text{konst.} - g\Delta_2 - \tfrac{1}{2} q_1^2, \tag{2}$$

$$\frac{P_2}{\rho_2} = \text{konst.} - g\Delta_2 - \tfrac{1}{2} q_2^2. \tag{3}$$

Die Kontinuitätsbedingung ergibt sodann:

$$cd_1 = q_1 (d_1 + \Delta_1 - \Delta_2), \tag{4}$$

$$cd_2 = q_2 (d_2 + \Delta_2). \tag{5}$$

Indem $p_1$ gleich einer Konstante und $P_1 = P_2$ gesetzt werden, erhält man, wenn höhere Potenzen von $\Delta_1$ und $\Delta_2$ als die erste weggeworfen werden, aus (1) und (4)

$$(gd_1 - c^2)\cdot\Delta_1 + c^2\cdot\Delta_2 = \text{konst.} \tag{6}$$

und aus (2), (3), (4) und (5)

$$c^2\cdot\rho_1\cdot d_2\cdot\Delta_1 + [g\cdot d_1\cdot d_2 (\rho_2 - \rho_1) - c^2 (\rho_2\cdot d_1 + \rho_1 d_2)]\cdot\Delta_2 = \text{konst.} \tag{7}$$

Wird $\Delta_1$ aus diesen Gleichungen eliminiert, und wird der Koeffizient von $\Delta_2 = 0$ gesetzt, erhält man zur Bestimmung von $c$:

$$c^4 - c^2 g (d_2 + d_1) + g^2\cdot d_1\cdot d_2 \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2}\right) = 0,$$

woraus

$$c^2 = g\cdot\frac{d_1 + d_2}{2}\left[1 \pm \left(1 - \frac{4 d_1 d_2}{(d_1 + d_2)^2}\left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2}\right)\right)^{\frac{1}{2}}\right].$$

Wird vorausgesetzt, dass $\rho_1$ und $\rho_2$ ungefähr gleich gross sind, hat man annäherungsweise

$$c = \sqrt{g\cdot\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2}\cdot\frac{1}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}}}. \tag{8}$$

Aus (6) wird das Verhältnis zwischen $\Delta_1$ und $\Delta_2$ bestimmt, indem $\Delta_1$ und $\Delta_2$ sich 0 so viel nähern können, wie man wünscht

$$\Delta_1 + \frac{c^2}{gd_1 - c^2} \cdot \Delta_2 = 0.$$

Wird hier der gefundene Wert von $c^2$ eingesetzt, hat man

$$\Delta_1 + \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \frac{d_1}{d_2} \cdot \rho_2} \cdot \Delta_2 = 0, \tag{9}$$

woraus man sieht, dass $\Delta_1$ und $\Delta_2$ entgegengesetzte Vorzeichen haben. Das Verhältnis zwischen ihnen ist durch die angegebene Grösse bestimmt.

Da die Grössen $\Delta_1$ und $\Delta_2$ als klein im Verhältnis zu $d_1$ und $d_2$ betrachtet werden, erhält man aus (4) und (5)

$$(q_1 - c) = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{d_1} \cdot c \tag{10}$$

und

$$(q_2 - c) = -\frac{\Delta_2}{d_2} \cdot c, \tag{11}$$

die die tatsächliche Geschwindigkeit der Wasserteile durch die Höhe ausdrücken, um die die Oberfläche und die Grenzschicht an dem betreffenden Orte über die mittlere Lage erhoben sind; die letztere Gleichung ist der Gleichung der Wasserteilgeschwindigkeit bei langen Wellen [1]) analog.

Bei $\Delta_2$ positiv wird $q_2 - c$ der hinzugefügten Geschwindigkeit c entgegengesetzt gerichtet, was auch vorausgesetzt war.

Ist $\rho_2 - \rho_1$ eine kleine Grösse im Verhältnis zu $\rho_1$ oder $\rho_2$, wird $\Delta_1$ klein im Verhältnis zu $\Delta_2$, und man erhält dann aus (10) und (11):

$$\frac{q_1 - c}{q_2 - c} = -\frac{d_2}{d_1}. \tag{12}$$

Um von der Maximalgeschwindigkeit der Wasserteile in der internen Welle einen Begriff zu erhalten, wollen wir annehmen, dass an den in Frage stehenden Orten $d_1 = d_2 = 15$ m und $\rho_2 - \rho_1 = 0{,}01$ für den Unterschied zwischen dem spezifischen Gewicht der Ober- und Unterschicht; dass der Übergang nicht ganz scharf ist, aber bei z. B. 1—2 m stattfindet, wird wahrscheinlich die Verhältnisse nicht in besonderem Grade verändern. Die Verpflanzungsgeschwindigkeit der Welle c ergibt sich dann = 86 cm/sec.

Da $\Delta_1$ klein ist im Verhältnis zu $\Delta_2$ und vorausgesetzt wird, dass die Dicke der Wasserteile dieselbe ist, werden infolge von (12) die Geschwindigkeiten der Wasserteile der Ober- und Unterschicht numerisch gleich gross, aber entgegengesetzt gerichtet sein.

Benutzt man die Amplituden der Versetzung der Isohalinflächen, die in Tab. 47 für die Feuerschiffe von Anholt Knob, Schultz's Grund und Lappegrunden angeführt sind, und setzt man die Amplitude bei Spodsbjerg nach Tab. 46 zu 25 cm an, hat man folgende Werte der Maximalgeschwindigkeit der Wasserteile der internen Welle:

| | |
|---|---|
| Anholt Knob ..... | 2,3 cm/sec |
| Schultz's Grund..... | 2,8 — |
| Lappegrunden ..... | 1,1 — |
| Spodsbjerg ..... | 1,4 — |

Die Gezeitenströme, die durch die internen Wellen entstehen, sind also schwächer als die Ströme, die durch direkte Beobachtung ausfindig gemacht wurden, und in

[1]) Siehe z. B. van der Stok—Hermann: Elementare Theorie der Gezeiten u. s. w. Ann. d. Hydrographie 1911, S. 306.

der Tat sollten sie wahrscheinlich bei Anholt Knob und Schultz's Grund zu etwas kleineren Werten angesetzt werden, da die Tab. 47 angeführten Niveauveränderungen der Isohalinflächen wahrscheinlich bedeutend grösser sind als die in der Natur tatsächlich vorkommenden. Die Salzgehaltbeobachtungen, die zu der harmonischen Analyse benutzt sind, sind nämlich mit Absicht in der Tiefe gewählt, in der sich die Sprungschicht gewöhnlich findet, und von der Schwankung in dieser Schicht teilen die Salzgehaltbestimmungen 5 m über und 5 m unter derselben nur wenig mit.

In Übereinstimmung hiermit ergaben sich die Niveauveränderungen bei Spodsbjerg als verhältnismässig klein, indem die Schwankung des Salzgehalts der Tiefe nach hier durch Beobachtungen bestimmt wurde, die dicht beieinander lagen. Da aber die Lage der Sprungschicht indessen nicht konstant ist, wird z. B. die mittlere Schwankung in 15 m Tiefe doch einigermasseu durch die Beobachtungen von 10, 15 und 20 m Tiefe bestimmt sein.

Ein anderer Umstand, der zu beachten ist, wenn beurteilt werden soll, welche Bedeutung die durch interne Wellen erzeugten Ströme haben können, ist, dass es keineswegs gegeben ist, dass die Verpflanzungsrichtung der internen Wellen mit der Richtung zusammenfällt, in der die Hauptwelle vorwärtsschreitet; nach dem, was wir in betreff ihres Entstehens angenommen haben, kann man sich die Richtung an den verschiedenen Orten ganz verschieden denken, und die Wahrscheinlichkeit davon, dass sie in wesentlichem Grade die Hauptbewegung beeinflussen, wird dadurch geringer.

Indessen findet sich in der Tiefe, in der die Sprungschicht bei Anholt Knob, Schultz's Grund und Spodsbjerg gewöhnlich liegt, eine Schwankung der Maximalgeschwindigkeit der Gezeitenwelle, die vielleicht vom Einfluss der internen Welle herrührt.

Bei Schultz's Grund und Spodsbjerg ist die Phase der internen Welle nahezu der der Gezeitenwelle entgegengesetzt, und vorausgesetzt, dass die Richtung der internen Welle teilweise mit der der Hauptwelle zusammenfällt, wird die gefundene Abnahme der Stromamplitude zwischen 5 und 15 m Tiefe durch den Einfluss der internen Wellen erklärt werden können.

Bei Anholt Knob findet sich gleichfalls eine Abnahme des Stroms von 5 bis 10 m Tiefe; hier weisen indessen die Gezeitenwelle und die interne Wellen nur einen geringen Phasenunterschied auf, namentlich wenn die Niveauveränderungen für dieselben Monate gerechnet werden (jedoch für mehrere Jahre) wie diejenigen, in denen die Strommessungen stattfanden. Soll daher die interne Welle als Ursache der Änderung der Amplitude der Gezeitenwelle von 5—10 m betrachtet werden, muss ihre Richtung annehmbar teilweise der Hauptrichtung der Gezeitenwelle entgegengesetzt sein.

Wie dem nun auch ist, so zeigt der Umstand, dass die durch die Gezeitenwelle entstehenden Ströme in Ober- und Unterschicht nahezu dieselbe Amplitude haben, so dass der Einfluss der internen Wellen auf die Ströme nur gering ist.

Nach dem, was dargetan worden ist, muss ferner angenommen werden, dass die internen Wellen zwar solche Veränderungen der Amplitude und Phase des Gezeitenstroms in Ober- und Unterschicht bewirken können, wie wirklich gefunden worden sind; dagegen kann die Abnahme der Stromamplitude gegen den Boden und das frühere Eintreten des Maximalstroms dort als in den oberen Schichten nicht durch den Einfluss der internen Wellen erklärt werden.

Die Erklärung des Wertes der Amplitude und der $\varkappa$-Zahl am Boden

Um zu untersuchen, welche Verhältnisse im Meere zur Veränderung der Amplitude und Phase des Gezeitenstroms beitragen können, wollen wir uns vorstellen, dass das Meer an den Orten, wo die Strommessungen stattfanden, gewissen ideellen Anforderungen entspricht. So nehmen wir an, dass die Tiefe überall dieselbe und das Wasser homogen und ohne Reibung ist. Die horizontale Bewegung, die durch Hebungen und Senkungen der Oberfläche hervorgerufen werden wird, muss dann unter den gewöhnlichen Vorausetzungen von den Dimensionen der Bewegungen in allen Tiefen die gleiche sein. Wenn nun in allen Tiefen Abweichungen von der Gleichmässigkeit der Bewegung bestehen, müssen sie dadurch entstanden sein, dass die genannten Voraussetzungen nicht vorliegen.

Betrachten wir zuerst den schrägen Boden; es ist klar, dass die Verhältnisse, wenn die Wellen sich hügelan bewegen, nicht so einfach sein können wie in einem Meere von gleichmässiger Tiefe, aber dennoch muss die horizontale Bewegung der Wasserpartikeln an derselben Stelle dieselbe sein, indem die horizontalen Druckgradienten in allen Tiefen dieselben sein werden, wenn die vertikalen Verschiebungen so klein sind, dass man von deren Acceleration absehenen kann. Von Ort zu Ort wird aber die Welle bei veränderter Tiefe des Wassers Veränderungen erleiden.

Man könnte der Heterogenität des Wassers wegen annehmen, dass durch die horizontale Verschiebung der Wasserteilchen ein Widerstand entstände, indem das Solenoidefeld des betreffenden Ortes sich änderte. Nimmt man an, dass die örtliche Schwankung des Feldes linear ist, und setzt man den stationären Strom, der dadurch hervorgerufen wird, wenn die Wasserteilchen in der Gleichgewichtslage sind, = a, kann der Strom, der vom Felde nach der Verschiebung durch den Gezeitenstrom herrührt, z. B. bis $a + k$ wachsen und bis $a - k$ abnehmen. Wird die Zeit von dem Augenblick aus gerechnet, wo die Wasserteile die Gleichgewichtslage einnehmen, kann man also diesen Strom an dem bestimmten Ort zu $a + k \sin \frac{2\pi}{T} \cdot t$ ansetzen, wo T 12,4 Stunden für die Periode $M_2$ ausmacht. Der durch die Gezeitenwelle erzeugte Strom wird, wenn die Zeit von demselben Augenblick aus gerechnet wird, $R \cos \frac{2\pi}{T} \cdot t$, wo R die Amplitude ist; man sieht, dass bei der hin- und hergehenden Bewegung des Solenoidefeldes die Möglichkeit einer Veränderung der Amplitude und Phase des Stroms besteht. Man muss sich indessen erinnern, dass die Grösse k durch den Unterschied im mittleren Werte des Solenoidefeldes auf einer Strecke bedingt ist, die durch die Verschiebung der Wasserteile durch die Gezeitenwelle bestimmt wird; da diese Verschiebung, wie früher angeführt, ca. 0,7 km von der Gleichgewichtslage beträgt, ist es kaum wahrscheinlich, dass die Schwankung des Feldes auf einer solchen Strecke von Bedeutung sein kann; namentlich kann die Schwankung des Feldes in der untersten Wasserschicht nicht recht gross sein, da das Feld innerhalb derselben an und für sich recht gering ist.

Es erübrigt noch, die durch die Reibung hervorgerufene Wirkung auf den Gezeitenstrom zu untersuchen.

## EINFLUSS DER REIBUNG AUF DIE GEZEITENBEWEGUNG AM BODEN

Bei der Behandlung dieses Problems gehe ich von denselben Voraussetzungen aus wie früher bei der virtuellen inneren Reibung; da hier wohl kein Missverständnis möglich ist, ist der Reibungskoeffizient im folgenden nur durch $\mu$ bezeichnet.

Um die theoretischen Bedingungen ausfindig zu machen, denen die Gezeitenbewegung unter diesen Voraussetzungen entsprechen muss, nehme ich an, dass die Schwankung des Druckes p in der Richtung (X), in der die Gezeitenwelle bei freier Bewegung vorschreitet,

$$\frac{dp}{dx} = g \cdot \frac{dh}{dx}$$

ist, wo h die Höhe, um welche die Wasseroberfläche über das mittlere Niveau erhoben ist, und g die Acceleration bezeichnen. Das spezifische Gewicht ist gleich 1 gesetzt.

Vorausgesetzt ist, dass die Accelerationen in senkrechter Richtung, wie bei »langen Wellen« im allgemeinen vorausgesetzt wird, verschwindend klein sind.

Wenn $\xi$ den Ausschwung der Wasserteile von der Gleichgewichtslage bezeichnet, hat man in allen Tiefen

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} = -g \cdot \frac{dh}{dx}. \tag{1}$$

Dies gilt jedoch nur von einer reibungsfreihen Flüssigkeit; nehmen wir an, dass in der Flüssigkeit eine innere Reibung vorkommt, und dass die Wasserteile am Boden sich in Ruhe befinden, wird die Gleichung (1) am Boden nicht gelten; die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Wert von $\frac{d^2\xi}{dt^2}$ und dem durch (1) bestimmten Wert, wird mit der Entfernung vom Boden abnehmen und allmählich verschwindend klein werden.

Der Strom in den obersten Schichten ist durch Messungen gefunden worden:

$$u_\infty = \frac{d\xi}{dt} = R_\infty \cos(\alpha t - \varkappa_\infty), \tag{2}$$

wo die Konstanten $R_\infty$ und $\varkappa_\infty$ empirisch durch harmonishe Analyse bestimmt sind.

Für Wasserteile in grosser Entfernung vom Boden hat man somit

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} = -g \cdot \frac{dh}{dx} = -\alpha \cdot R_\infty \sin(\alpha t - \varkappa_\infty).$$

Für Wasserteile in der Entfernung y vom Boden hat man unter den gewönlichen Voraussetzungen der inneren Reibung in einer Flüssigkeit des Reibungskoeffizienten $\mu$, wo $\mu$ als konstant betrachtet wird,

$$\frac{du}{dt} - \mu \cdot \frac{d^2u}{dy^2} + \alpha \cdot R_\infty \sin(\alpha t - \varkappa_\infty) = 0. \tag{3}$$

Wird diese Gleichung unter der Voraussetzung integriert, dass $u = 0$ bei $y = 0$, und dass $u = R_\infty \cos(\alpha t - \varkappa_\infty)$ bei $y = \infty$, so wird der Strom $u_y$ in der Entfernung y vom Boden ausgedrückt durch

$$u_y = R_\infty \cos(\alpha t - \varkappa_\infty) - R_\infty e^{-\sqrt{\frac{\alpha}{2\mu}} \cdot y} \cos\left(\alpha t - \left(\varkappa_\infty + \sqrt{\frac{\alpha}{2\mu}}\, y\right)\right), \tag{4}$$

und also ist:

$$u_\infty - u_y = R_\infty \cdot e^{-\sqrt{\frac{\alpha}{2\mu}} \cdot y} \cos\left(\alpha t - \left(\varkappa_\infty + \sqrt{\frac{\alpha}{2\mu}}\, y\right)\right). \tag{5}$$

Der Gleichung (2) analog ist:

$$u_y = R_y \cos(\alpha t - \varkappa_y), \tag{6}$$

wo die Grössen $R_y$ und $\varkappa_y$ wie $R_\infty$ und $\varkappa_\infty$ empirisch bestimmte Konstanten sind.

Setzt man $\quad R_\infty \cos \varkappa_\infty - R_y \cos \varkappa_y = A$

und $\quad R_\infty \sin \varkappa_\infty - R_y \sin \varkappa_y = B,$

so hat man

$$R_\infty \cdot e^{-\sqrt{\frac{\alpha}{2\mu}} \cdot y} = \sqrt{A^2 + B^2} \tag{7}$$

und

$$\operatorname{tg}\left(\varkappa_\infty + \sqrt{\frac{\alpha}{2\mu}} \cdot y\right) = \frac{B}{A}. \tag{8}$$

Aus jeder dieser Gleichungen lässt sich die Grösse $\sqrt{\frac{\alpha}{2\mu}}\, y$ und somit $\mu$ bestimmen.

Setzt man

$$\sqrt{\frac{\alpha}{2\mu}} \cdot y = m,$$

so erhält man aus den Gleichungen (4) und (6)

$$R_y = R_\infty \sqrt{1 + e^{-2m} - 2e^{-m} \cos m} \tag{9}$$

und

$$\operatorname{tg}(\varkappa_y - \varkappa_\infty) = \frac{-\sin m}{e^m - \cos m}. \tag{10}$$

Aus der Formel (9) sieht man, dass die Amplitude am Boden 0 ist, und dass für $y = \infty$ die Amplitude $R_\infty$ wird, wie vorausgesetzt.

Bei wachsendem y wird die Amplitude jedoch nicht gleichmässig zunehmen, sondern eine Reihe Maxima und Minima passieren, deren Lage durch die Gleichung

$$\sqrt{\tfrac{1}{2}} \cdot e^{-m} = \sin\left(\frac{\pi}{4} + m\right)$$

bestimmt wird. Das erste Maximum liegt in einer Entfernung vom Boden, in der $m = 2{,}284$, und bei diesem Wert hat man $R_y = 1{,}069\, R_\infty$. Nachdem dieser Wert von R passiert ist, indem wir vom Boden ausgehen, wird $e^{-m}$ stets eine kleine Grösse sein, so dass die Maximal- und Minimalwerte von $R_y$ unweit der Orte eintreffen müssen, bei denen $m = -\frac{\pi}{4} + N \cdot \pi$ ist, wo N eine beliebige ganze, positive Zahle ist.

Aus der Gleichung (10) sieht man, dass die Grösse $\operatorname{tg}(\varkappa_y - \varkappa_\infty)$ unbestimmt ist bei $y = 0$, was dem entspricht, dass die Amplitude bei $y = 0$ Null ist; ihr wahrer Wert ist $-1$, woraus man sieht, dass $\varkappa_y$ am Boden annäherungsweise $45^0$ kleiner ist als $\varkappa_\infty$; dies heisst, dass das Maximum des Gezeitenstroms der Reibung wegen annäherungsweise $\frac{1}{8} \cdot 12$ Periodestunden früher am Boden eintritt als an der Oberfläche.

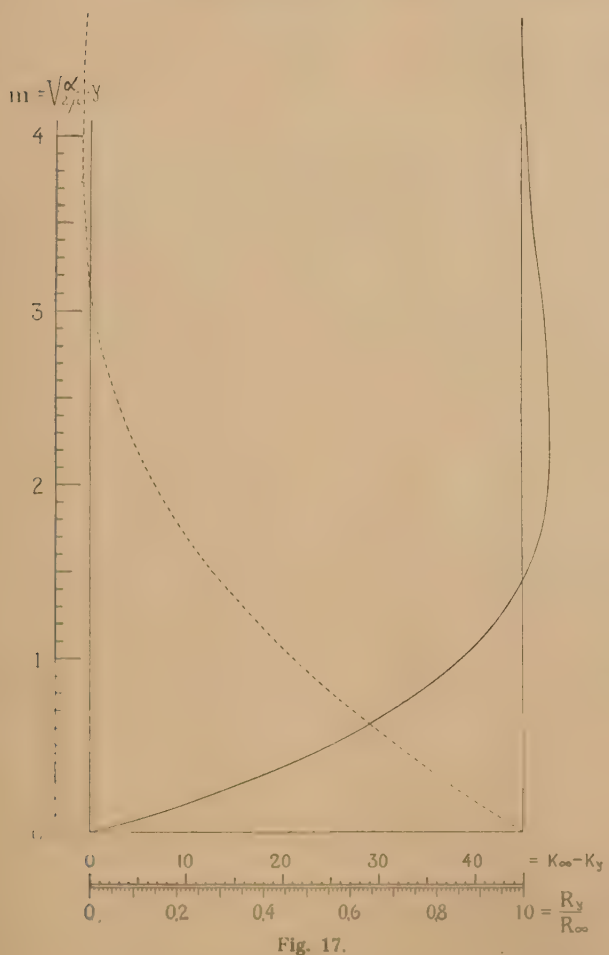


Fig. 17.

Dieser Phasenunterschied des Eintritts des Maximalstroms wird bei zunehmendem y kleiner werden, und wird Null bei $y = \infty$; er wird aber abnehmen und zunehmen in ähnlicher Weise wie $R_y$, nur dass seine Maxima und Minima ungefähr bei $m = +\frac{\pi}{4} + N \cdot \pi$ fallen, wo N eine beliebige Zahl ist; bei $m = N\pi$ wird der Phasenunterschied Null sein, so dass er bei zunehmendem y abwechselnd positiv und negativ sein wird, um schliesslich, wenn y unendlich wird, verschwindend klein zu werden.

Fig. (17) gibt eine graphische Darstellung der Schwankung der Amplitude und des Phasenunterschieds im Verhältnis zur Entfernung vom Boden. Die ausgezogene Kurve gibt das Verhältnis $\frac{R_y}{R_\varkappa}$ an, die punktierte den Phasenunterschid $\varkappa_\infty - \varkappa_y$ in Graden.

Numerische Bestimmung des Reibungskoeffizienten $\mu$ am Boden

Wie bereits bemerkt, hat Pettersson bei Strommessungen im Grossen Belt beobachtet, dass der Gezeitenstrom sein Maximum früher am Boden erreicht als in den oberen Schichten. Ähnliches hat James Thomson[1]) unter anderen Verhältnissen beobachtet,

[1]) Philos. Mag. 1888, Bd. 26 S. 382 ref. i Krümmels Handbuch der Ozeanographie II, S. 31.

nämlich bei der Wasserbewegung in den grossen Dünungen, die vom Atlantischen Ozean an die Nordküste von Irland herankommen.

Die Wasserteilchen dieser Dünungen hatten eine Schwingungszeit von 10—20 Sek., und es ergab sich aus der Bewegung aufgeschwemmter Stücke von Seegras und dgl., dass der von der Wellenbewegung herrührende Strom immer früher am Boden Richtung änderte als in den oberen Schichten. Thompon erklärt diese Erscheinung durch die Reibung am Boden.

Bei den hier vorliegenden Ergebnissen von Strommessungen, die Tab. 42 S. 80 aufgeführt sind, stimmt die Schwankung von Amplitude und Phase in der Nähe des Bodens im wesentlichen mit dem, was nach der oben entwickelten Theorie zu erwarten war.

Im Langelandsbelt ist die Phase doch ca. 70° kleiner am Boden als in den oberen Schichten, also mehr als was die Theorie ergibt; man muss wohl annehmen, dass die Strömungen in den engen Rinnen in der Tiefe derart modifiziert werden, dass ein solches Resultat entstehen kann.

Auch bei Lappegrunden sind die Stromverhältnisse sehr unregelmässig, aber Amplitude und Phase schwanken doch in Übereinstimmung mit der Theorie.

Bei Anholt Knob und Schultz's Grund darf man wohl auf etwas regelmässigere Verhältnisse rechnen; an diesen beiden Orten berechne ich daher den virtuellen Reibungskoeffizienten des Wassers nahe am Boden.

In Übereinstimmung mit den Bezeichnungen der entwickelten Theorie haben wir

Anholt Knob
$$R_\infty = 9{,}5 \text{ cm/sec} \quad \varkappa_\infty = 53^0,$$
$$R_y = 6{,}9 \text{ —} \quad \varkappa_y = 33^0,$$
$$y = 300 \text{ cm}$$

Schultz's Grund
$$R_\infty = 10{,}1 \text{ cm/sec} \quad \varkappa_\infty = 82^0,$$
$$R_y = 7{,}1 \text{ —} \quad \varkappa_y = 70^0,$$
$$y = 100 \text{ cm}$$

Die Amplituden $R_\infty$ und die Phasen $\varkappa_\infty$ sind der Einwirkung der internen Wellen wegen als mittlere Zahlen der Werte in $2^1/_2$, 5, 10, 15 und 20 m Tiefe berechnet; die Bodentiefe ist bei Anholt Knob zu 28 m, bei Schultz's Grund zu 26 m angesetzt.

Auf Grund dieser Zahlen bekommen wir folgende Werte des virtuellen Reibungskoefficienten mit Benutzung der in Fig. 17 gezeichneten Kurven; $\alpha$ ist gleich 0,0001405 gesetzt.

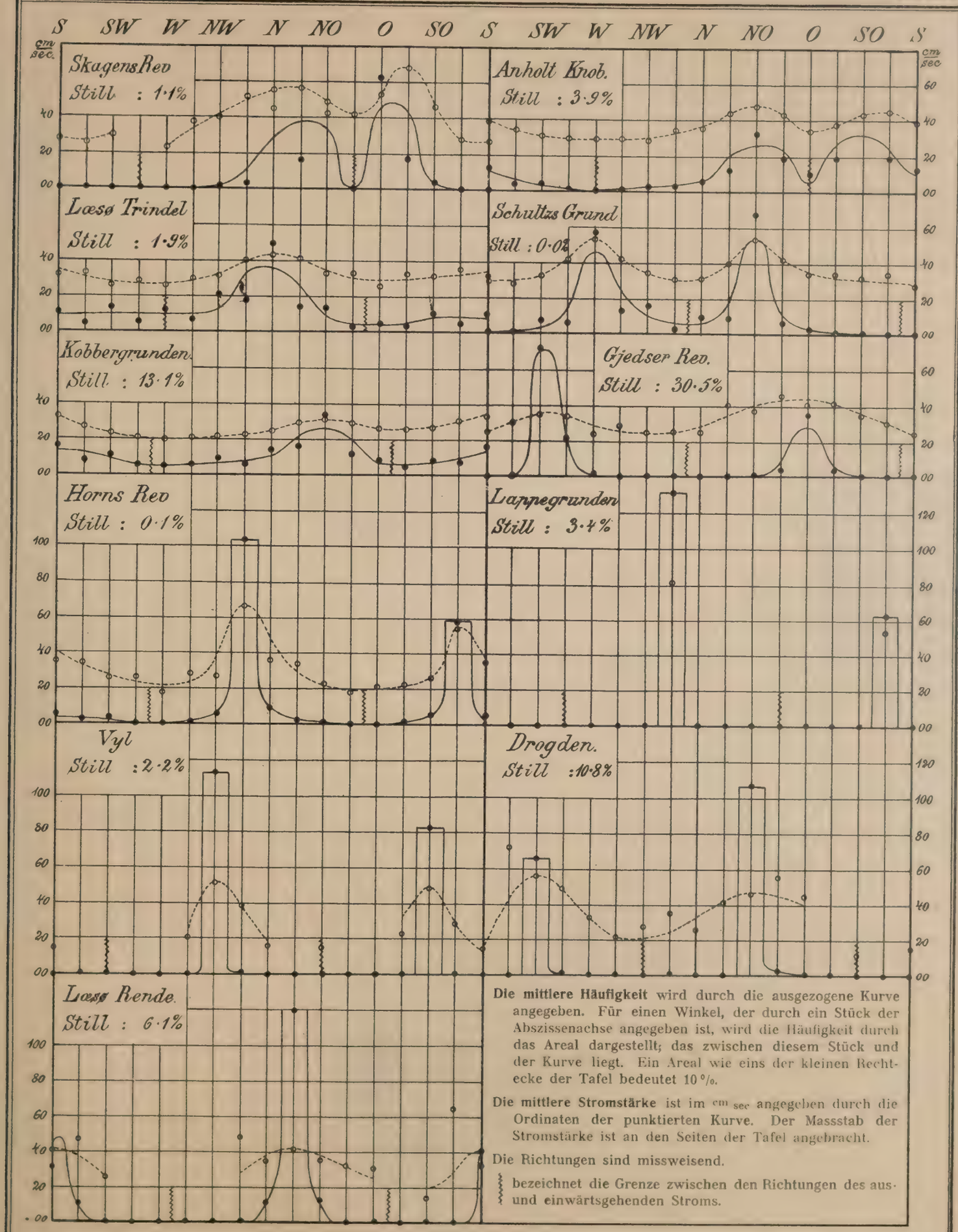
| | Aus $\frac{R_y}{R_\infty}$ berechnet. | Aus $\varkappa_\infty - \varkappa_y$ berechnet. |
|---|---|---|
| Anholt Knob | 11,4 | 5,6 |
| Schultz's Grund | 1,41 | 0,29 |

Diese Werte des virtuellen Reibungskoeffizienten sind ja sehr verschieden und können nur von der Grössenordnung einen Begriff geben; der grosse Unterschied an den beiden Orten kann von den lokalen Verhältnissen herrühren, aber ausgeschlossen ist es ja andererseits nicht, dass man nach der Entfernung vom Boden mit verschiedenen Werten der inneren Reibung rechnen muss, da die Wirbelströme am Boden und weiter davon entfernt nicht gleich stark entwickelt sind.

Die Grössenordnung scheint nicht unangemessen im Verhältnis zu den früher gefundenen Werten, und man muss wohl infolgedessen annehmen, dass der Grund zu der eigentümlichen Phasenverschiebung der Gezeitenbewegung am Boden in der Reibung liegt.

# Mittlere Häufigkeit und mittlere Stärke
des Stroms nach verschiedenen Richtungen bei dänischen Feuerschiffen.






**Die mittlere Häufigkeit** wird durch die ausgezogene Kurve angegeben. Für einen Winkel, der durch ein Stück der Abszissenachse angegeben ist, wird die Häufigkeit durch das Areal dargestellt; das zwischen diesem Stück und der Kurve liegt. Ein Areal wie eins der kleinen Rechtecke der Tafel bedeutet 10 %.

**Die mittlere Stromstärke** ist im $^{cm}/_{sec}$ angegeben durch die Ordinaten der punktierten Kurve. Der Massstab der Stromstärke ist an den Seiten der Tafel angebracht.

Die Richtungen sind missweisend.

⌇ bezeichnet die Grenze zwischen den Richtungen des aus- und einwärtsgehenden Stroms.

# Mittlere Werte der Bewegung des Wassers im Laufe von 3 mal 24 Stunden.

Die mit kleinen Pfeilspitzen versehenen Linien geben an, wie weit sich eine Wasserpartikel im Laufe vom 3 mal 24 Stunden bewegen würde, wenn sie von den Strömen beeinflusst wäre, welche durchschnittlich innerhalb eines Winkels von 22½° liegen mit der Linie als Halbierungslinie. Diese Linien fallen gewöhnlich in zwei den aus- und einwärtsgehenden Strömen entsprechende Gruppen. Die Endpunkte der Linien jeder Gruppe sind durch eine punktierte Linie verbunden. Durch geometrische Addition der Linien einer jeden einzelnen Gruppe erhält man die mit einer grösseren Pfeilspitze versehenen Linien, die somit die Strecke bezeichnen, die eine Wasserpartikel im Laufe von 3 mal 24 Stunden zurücklegen würde bezw. unter Beeinflussung von den auswärtsgehenden oder den einwärtsgehenden Strömen, wenn diese mit ihrem mittleren Wert aufträten.

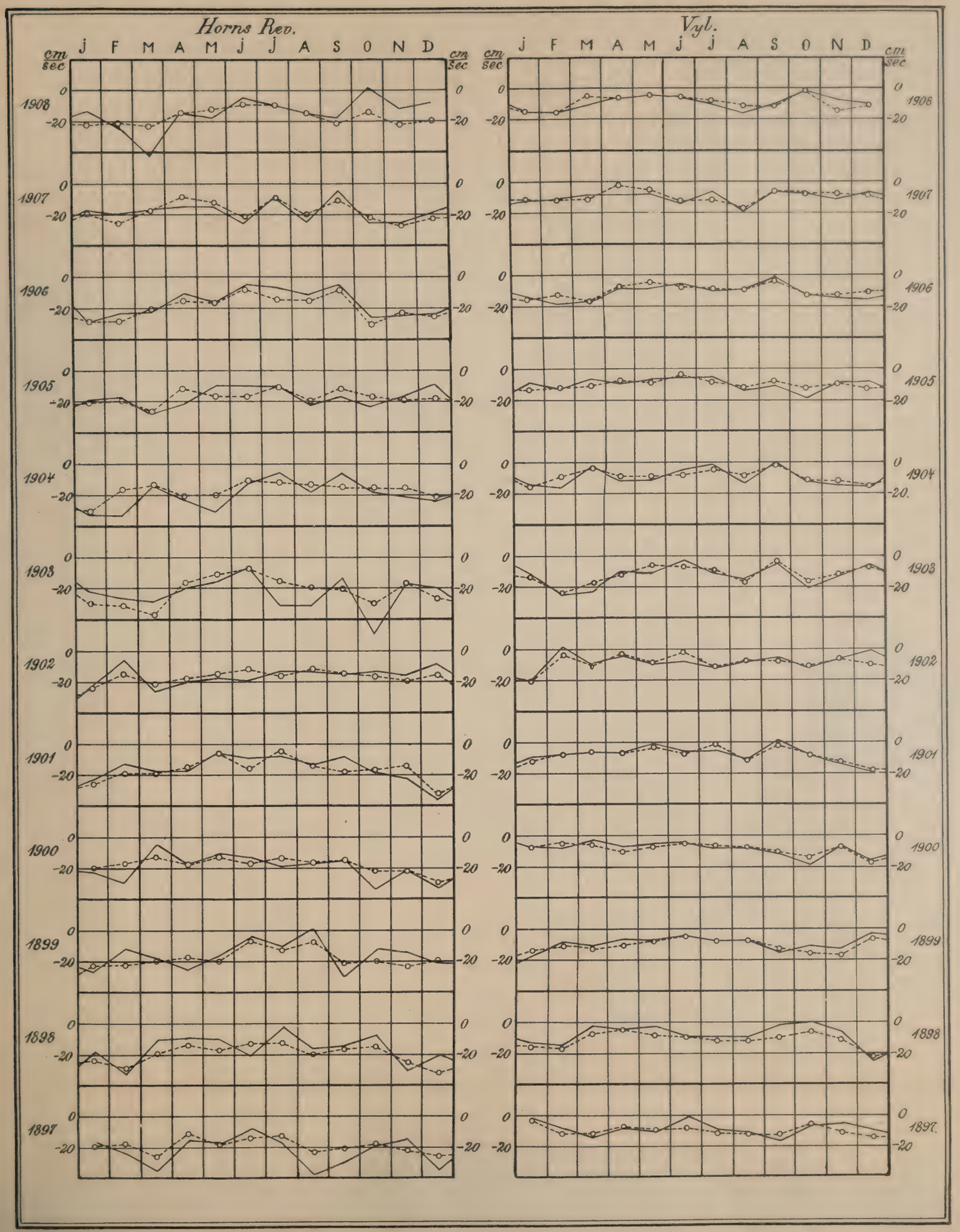
TAFEL II

# Monatsmittel der Ströme bei den Feuerschiffen *Horns Rev* und *Vyl.*

Bei dem Feuerschiff Horns Rev ist die Resultante der Ströme nach N79O—S—S79W (missw.) als auswärtsgehender Strom bezeichnet.
— — — — — — — — — S79W—N—N79O — einwärtsgehender — —
Bei dem Feuerschiff Vyl — — — — — N45O—S—S45W — auswärtsgehender — —
— — — — — — — — — S45W—N—N45O — einwärtsgehender — —

Die Differenz a—e zwischen dem auswärtsgehenden Strom a und dem einwärtsgehenden Strom e ist durch die Kurve ⌒ wiedergegeben.
Der aus dem Winde bei den Feuerschiffen berechnete Wert der nämlichen Grösse ist durch die Kurve ∿ wiedergegeben.

TAFEL III

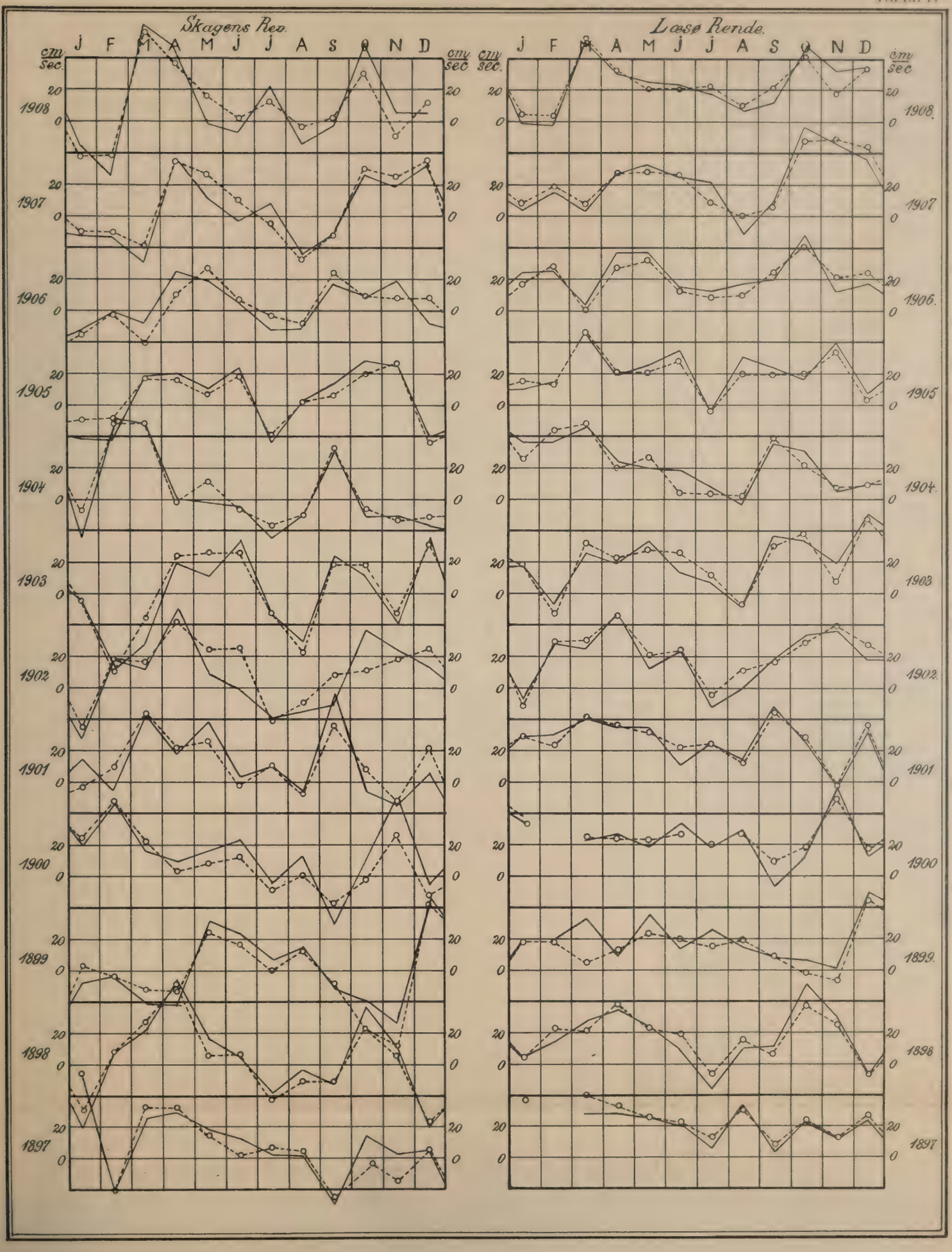


# Monatsmittel der Ströme bei den Feuerschiffen *Skagens Rev* und *Læsø Rende*.

Bei dem Feuerschiff Skagens Rev ist die Resultante der Ströme nach S68W—N—N68O (missw.) als auswärtsgehender Strom bezeichnet.
— — — — — — — — N68O—O—S68W — einwärtsgehender — —
Bei dem Feuerschiff Læsø Rende — — — — N79W—N—S79O — auswärtsgehender — —
— — — — — — — — S79O—S—N79W — einwärtsgehender — —

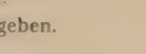
Die Differenz a—e zwischen dem auswärtsgehenden Strom a und dem einwärtsgehenden Strom e ist durch die Kurve ⟋⟍ wiedergegeben.
Der aus dem Winde bei den Feuerschiffen berechnete Wert der nämlichen Grösse ist durch die Kurve -o---o- wiedergegeben.

TAFEL IV

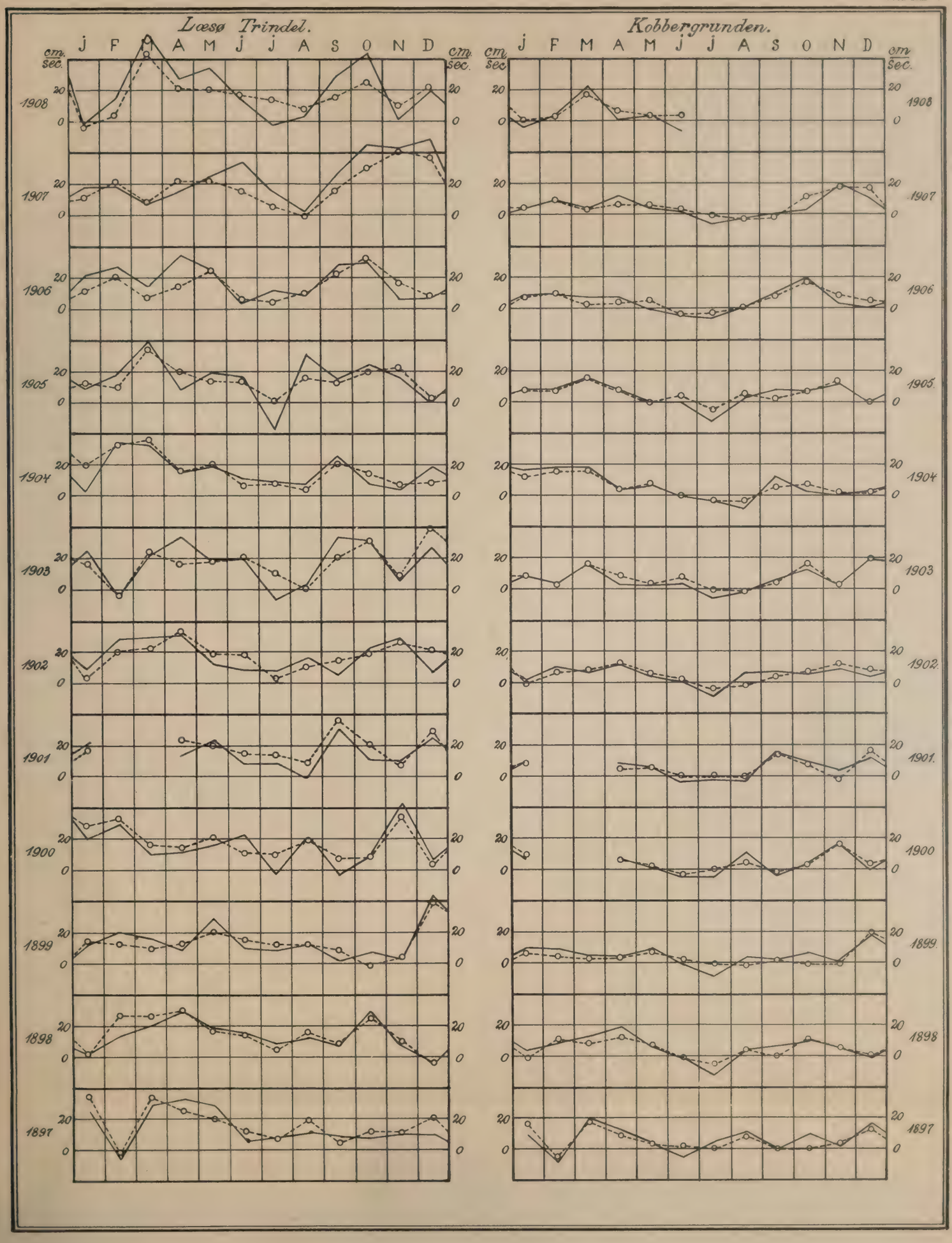


# Monatsmittel der Ströme bei den Feuerschiffen *Læsø Trindel* und *Kobbergrunden*.

Bei dem Feuerschiff Læsø Trindel ist die Resultante der Ströme nach W—N—N79O (missw.) als auswärtsgehender Strom bezeichnet.
" " " " " " " " N79O—S—W " einwärtsgehender " "
Bei dem Feuerschiff Kobbergrunden — — — S79W—N—S79O — auswärtsgehender " —
" " " " " " " " S79O—S—S79W — einwärtsgehender " "

Die Differenz a—e zwischen dem auswärtsgehenden Strom a und dem einwärtsgehenden Strom e ist durch die Kurve  wiedergegeben.
Der aus dem Winde bei den Feuerschiffen berechnete Wert der nämlichen Grösse ist durch die Kurve wiedergegeben.

TAFEL V

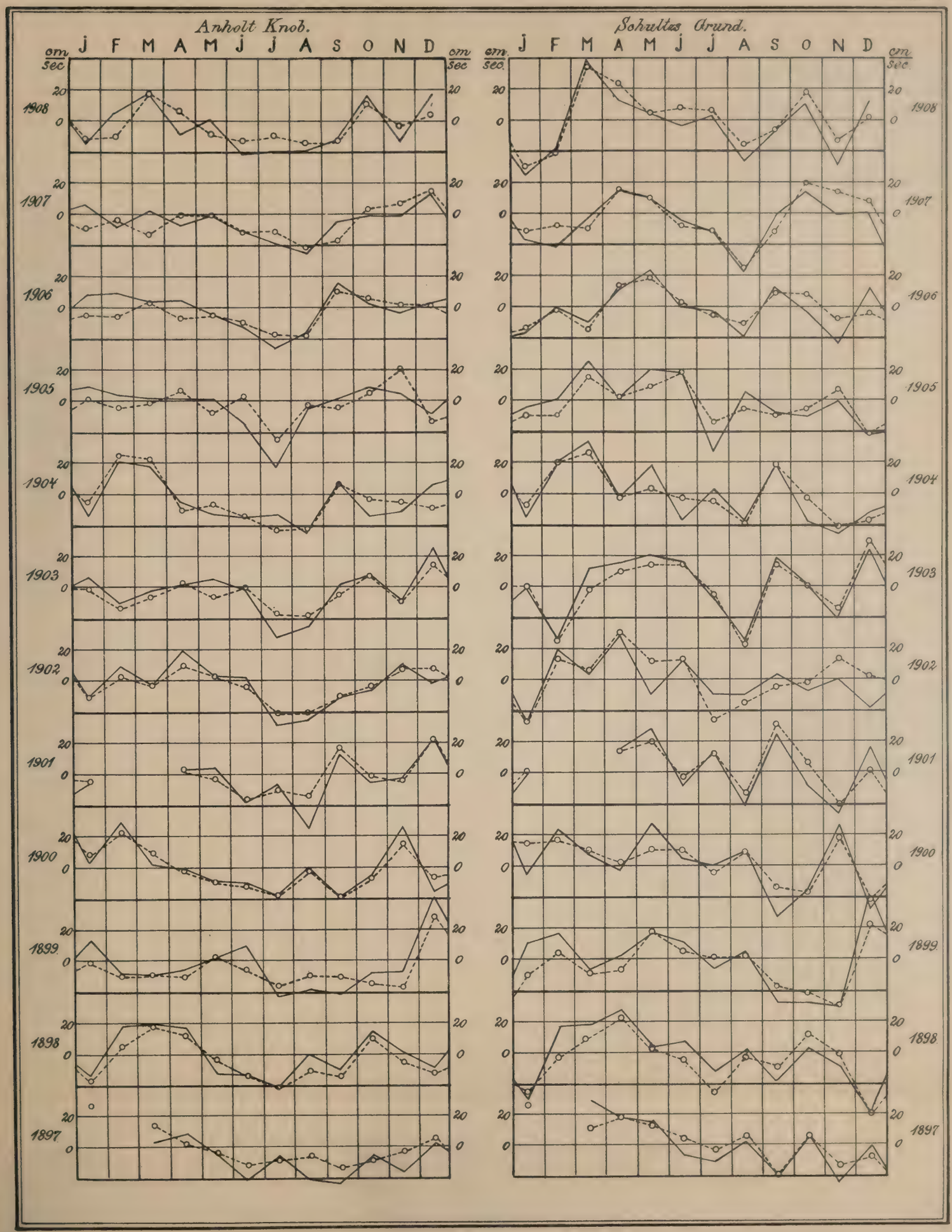


# Monatsmittel der Ströme bei den Feuerschiffen *Anholt Knob* und *Schultz' Grund.*

Bei dem Feuerschiff Anholt Knob ist die Resultante der Ströme nach W—N—O (missw.) als auswärtsgehender Strom bezeichnet.
— — — — — — — — — O—S—W — einwärtsgehender —
Bei dem Feuerschiff Schultz' Grund — — — N11W—O—S11O — auswärtsgehender —
— — — — — — — — — S11O—W—N11W — einwärtsgehender —

Die Differenz a—e zwischen dem auswärtsgehenden Strom a und dem einwärtsgehenden Strom e ist durch die Kurve ⟋⟍ wiedergegeben.
Der aus dem Winde bei den Feuerschiffen berechnete Wert der nämlichen Grösse ist durch die Kurve ∘–∘–∘ wiedergegeben.

TAFEL VI

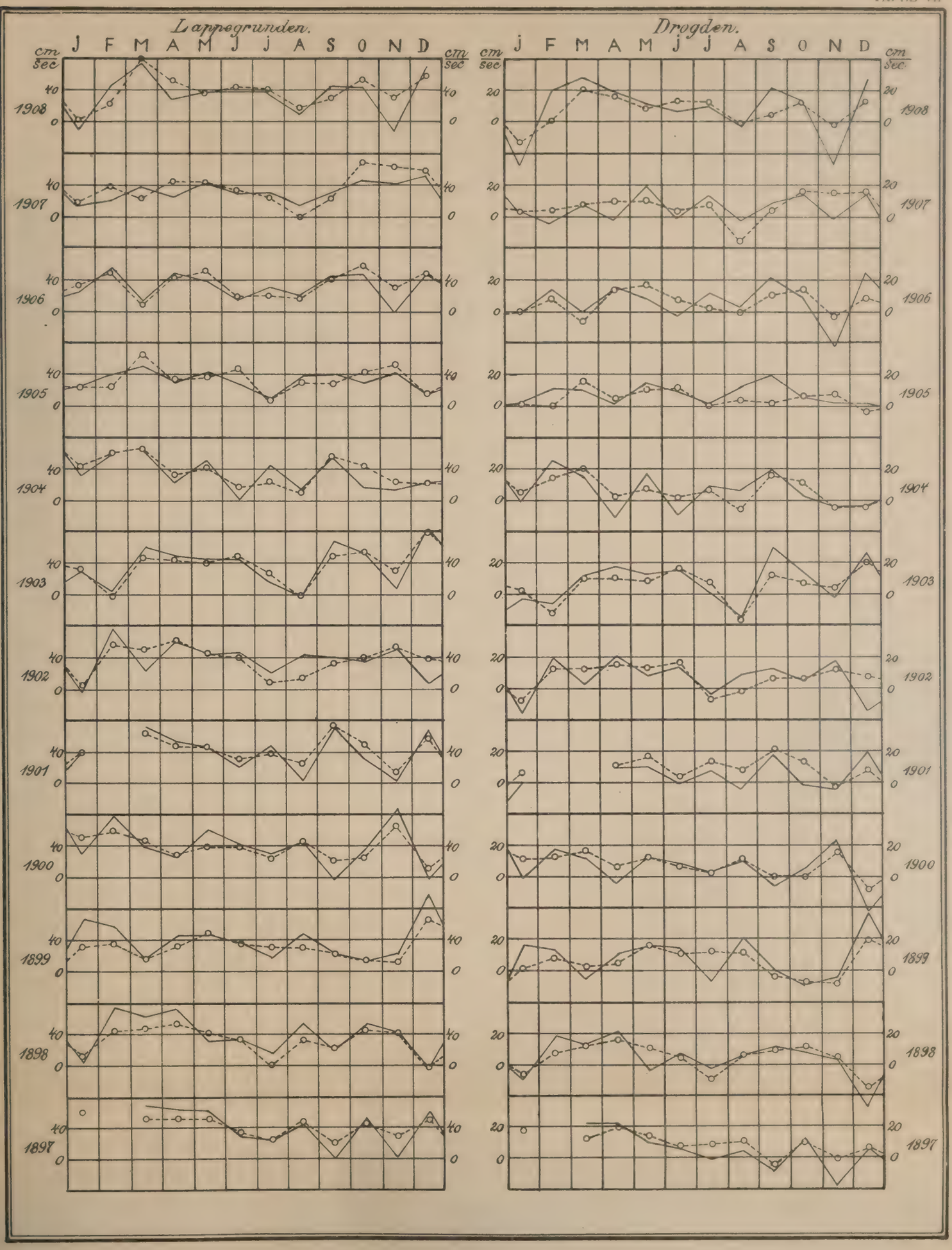


# Monatsmittel der Ströme bei den Feuerschiffen *Lappegrunden* und *Drogden*.

Bei dem Feuerschiff Lappegrunden ist die Resultante der Ströme nach N22W (missw.) als auswärtsgehender Strom bezeichnet.
— — — — — — — — — — — — S22O — einwärtsgehender —
Bei dem Feuerschiff Drogden — — — — — — N45W—N—S45O — auswärtsgehender —
— — — — — — — — — S45O—S—N45W — einwärtsgehender —

Die Differenz a—e zwischen dem auswärtsgehenden Strom a und dem einwärtsgehenden Strom e ist durch die Kurve ⟋⟍ wiedergegeben.
Der aus dem Winde bei den Feuerschiffen berechnete Wert der nämlichen Grösse ist durch die Kurve ○–○–○ wiedergegeben.

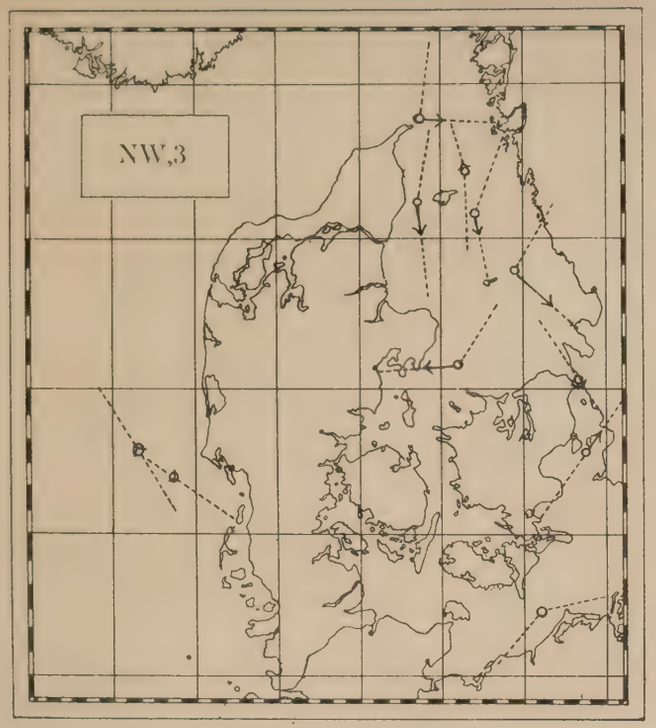
TAFEL VII

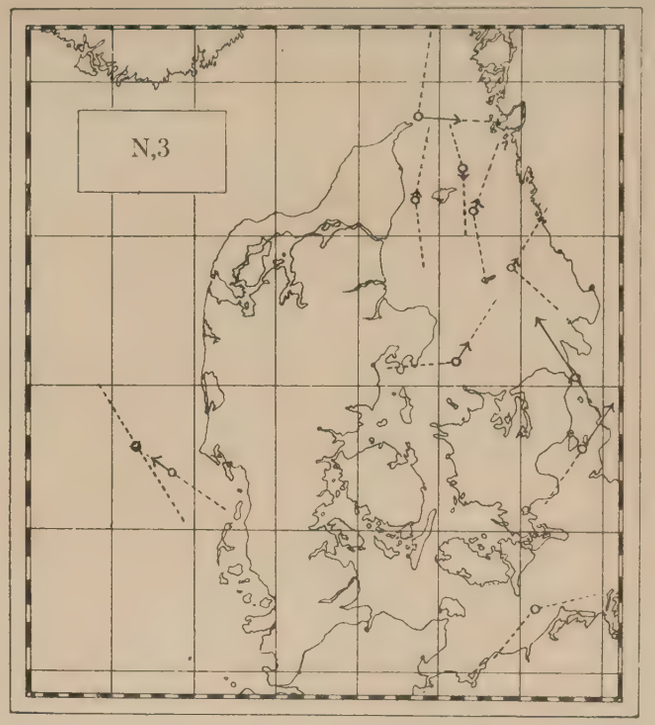


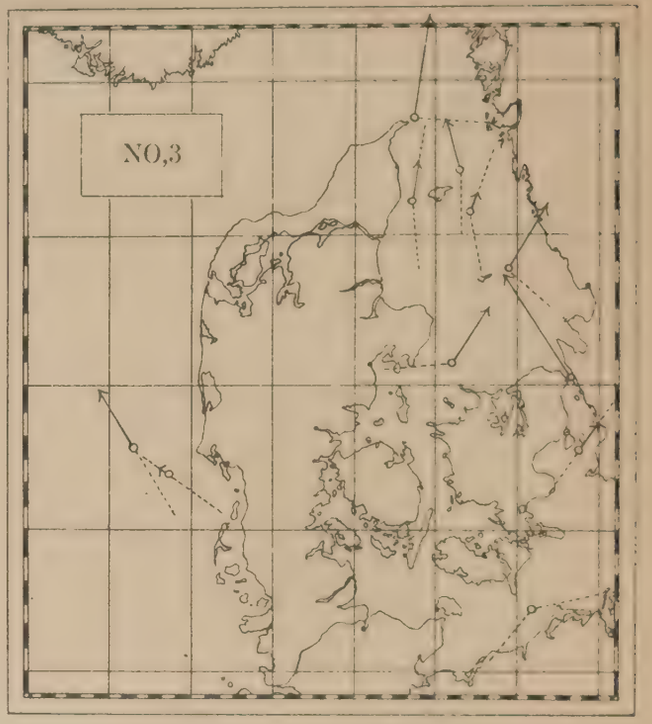
**Resultierende Ströme bei dänischen Feuerschiffen bei lokalem Wind der in den Karten angegebenen Richtung und Stärke.**

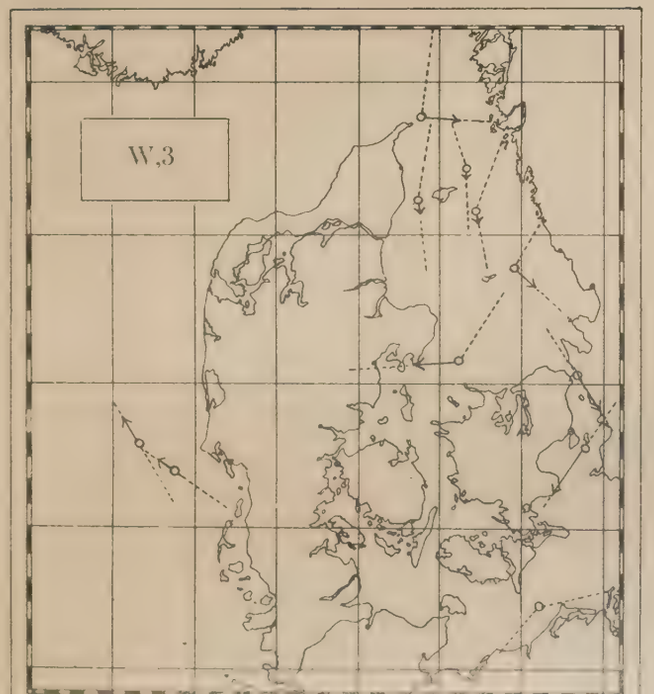
Die Karten entsprechen den S. 13 angeführten Formeln, indem die Pfeile die Stromstärke nach untenstehendem Massstab angeben. Die punktierten Linien geben die Hauptrichtungen der Ströme an. Die Windrichtung ist missweisend angegeben (Skala 0—12).

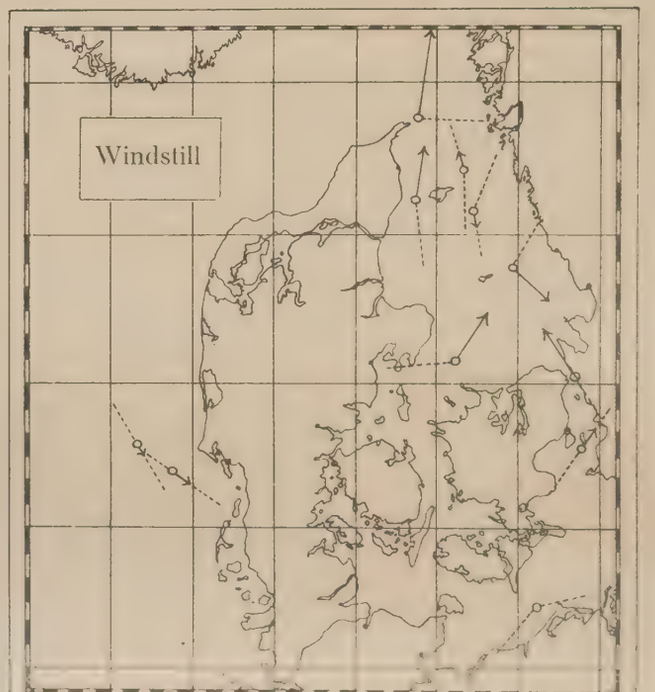


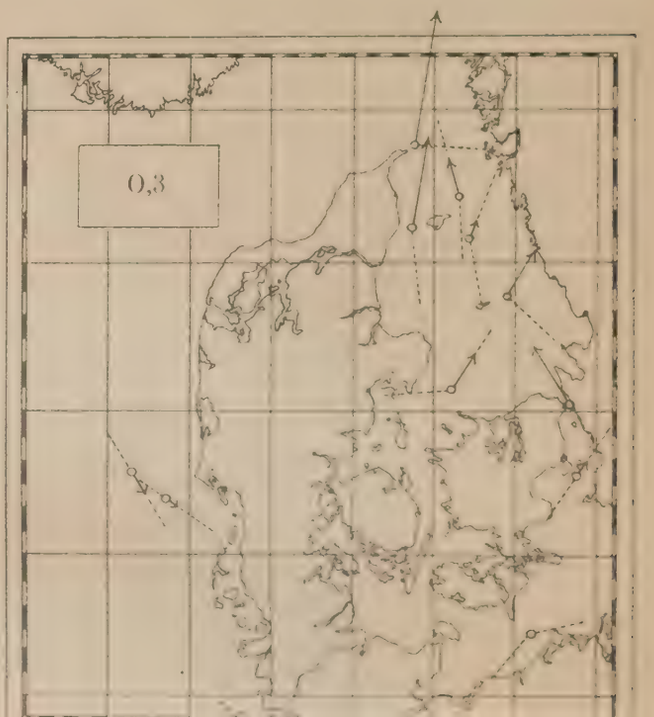


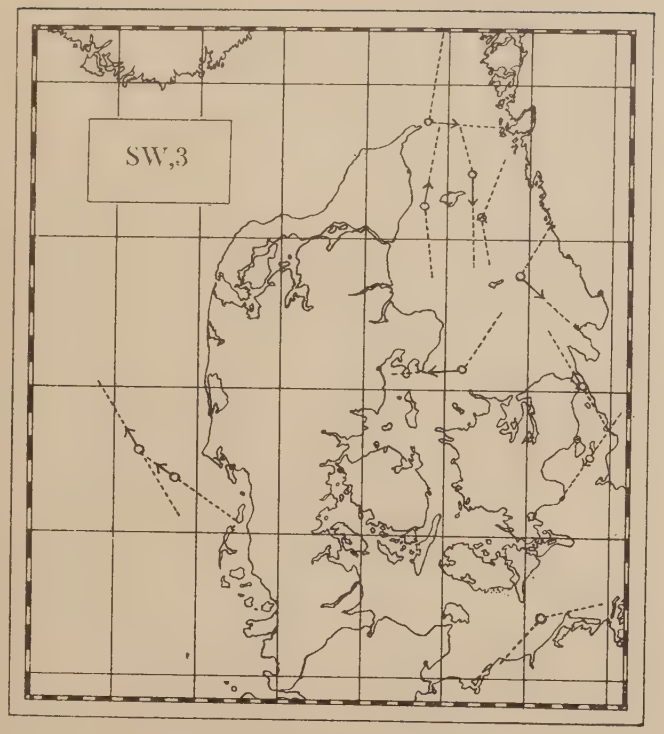



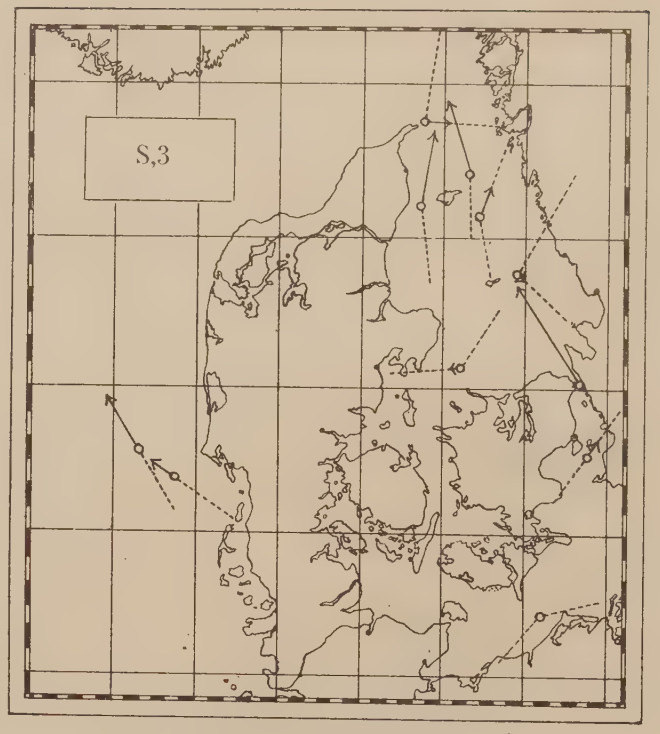



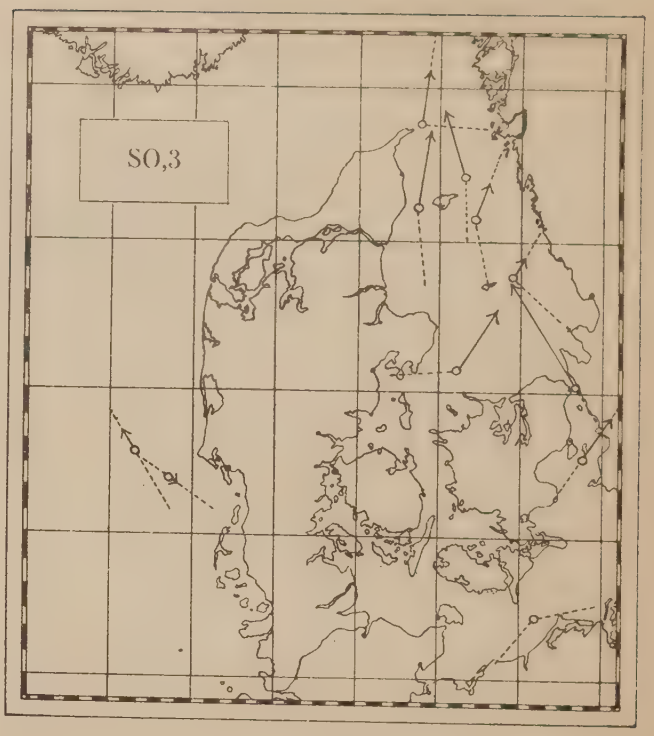



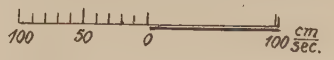




SW,3


S,3

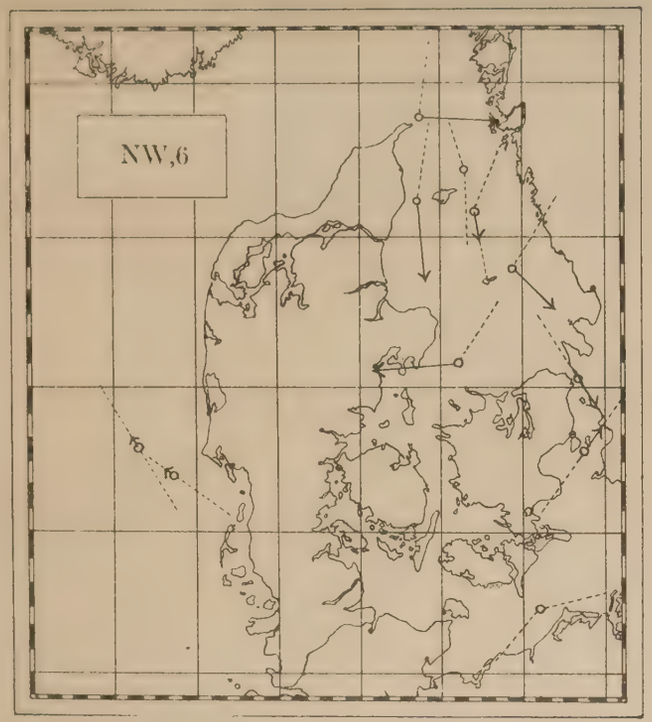

SO,3

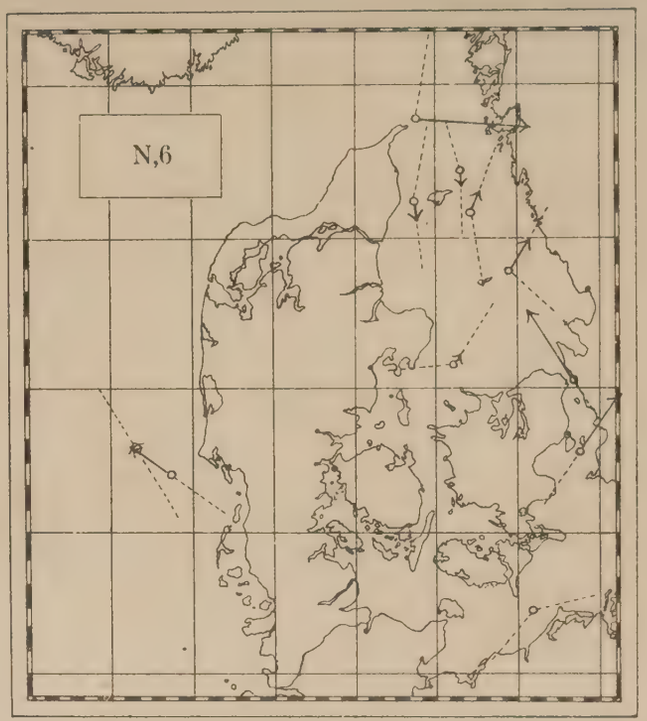

100
50
0
100
cm/sec.

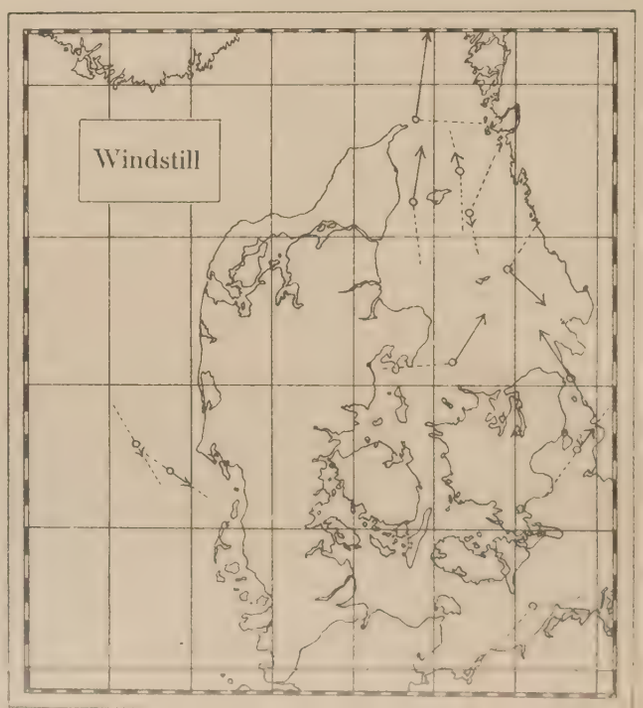
**Resultierende Ströme bei dänischen Feuerschiffen bei lokalem Wind der in den Karten angegebenen Richtung und Stärke.**

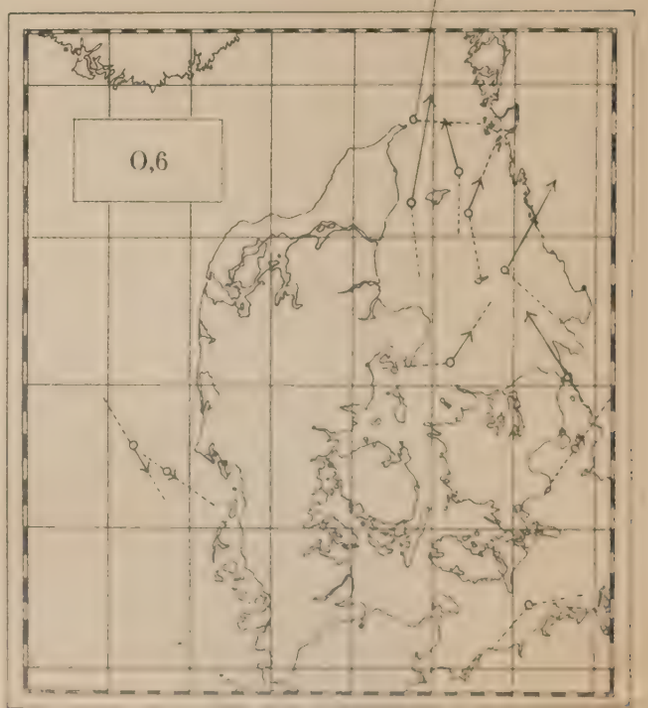
Die Karten entsprechen den S. 13 angeführten Formeln, indem die Pfeile die Stromstärke nach untenstehendem Massstab angeben. Die punktierten Linien geben die Hauptrichtungen der Ströme an. Die Windrichtung ist missweisend angegeben (Skala 0—12).

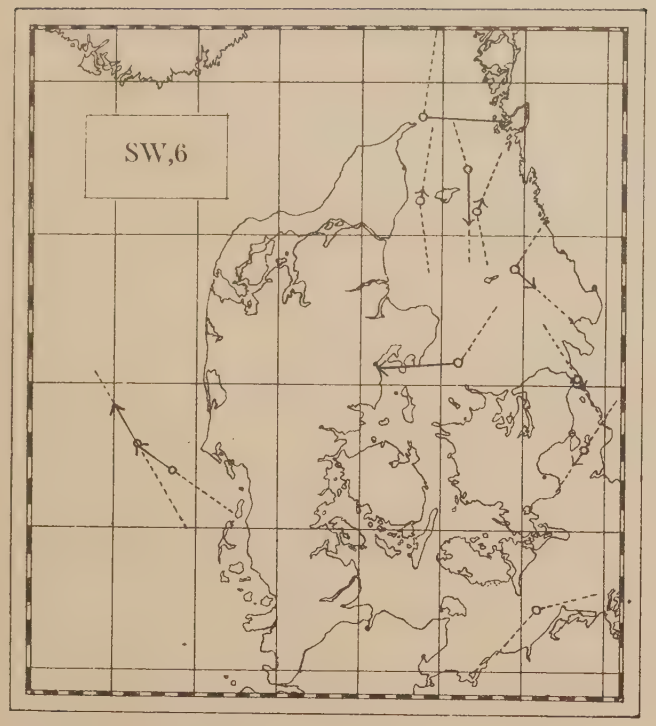


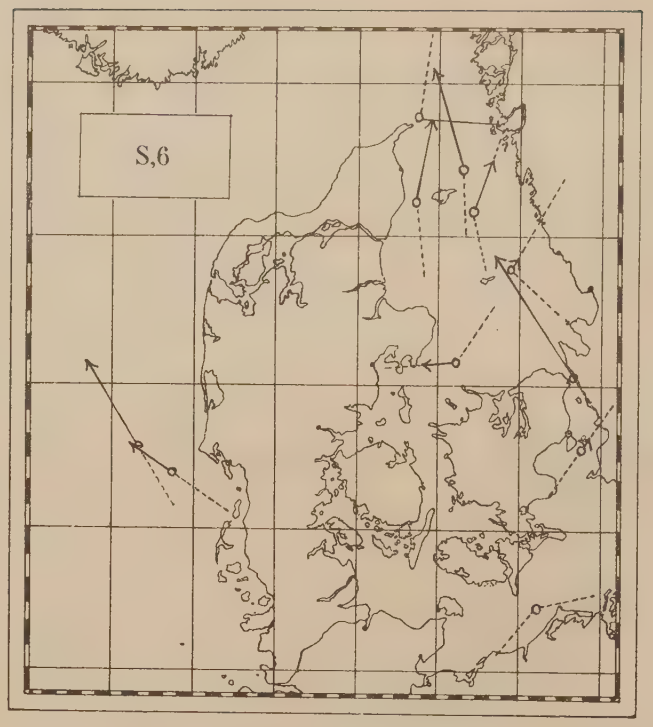


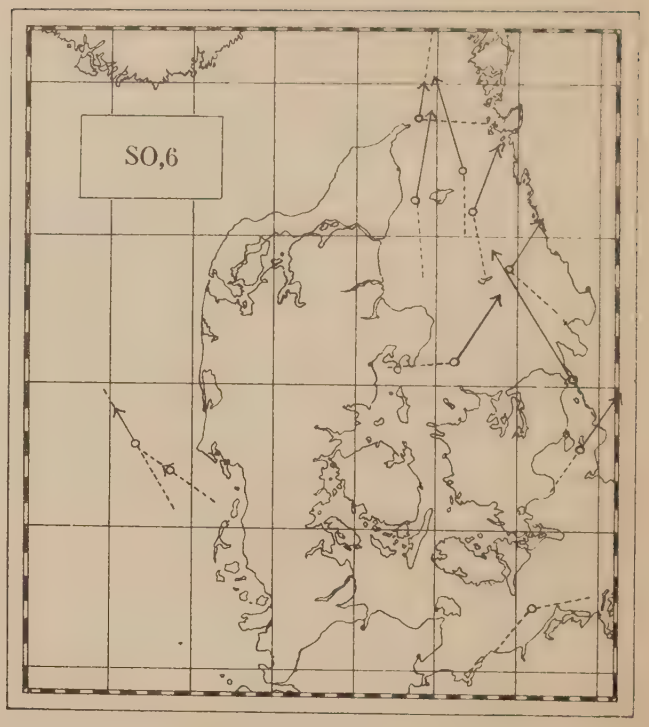



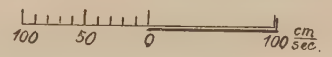



SW,6


S,6


SO,6

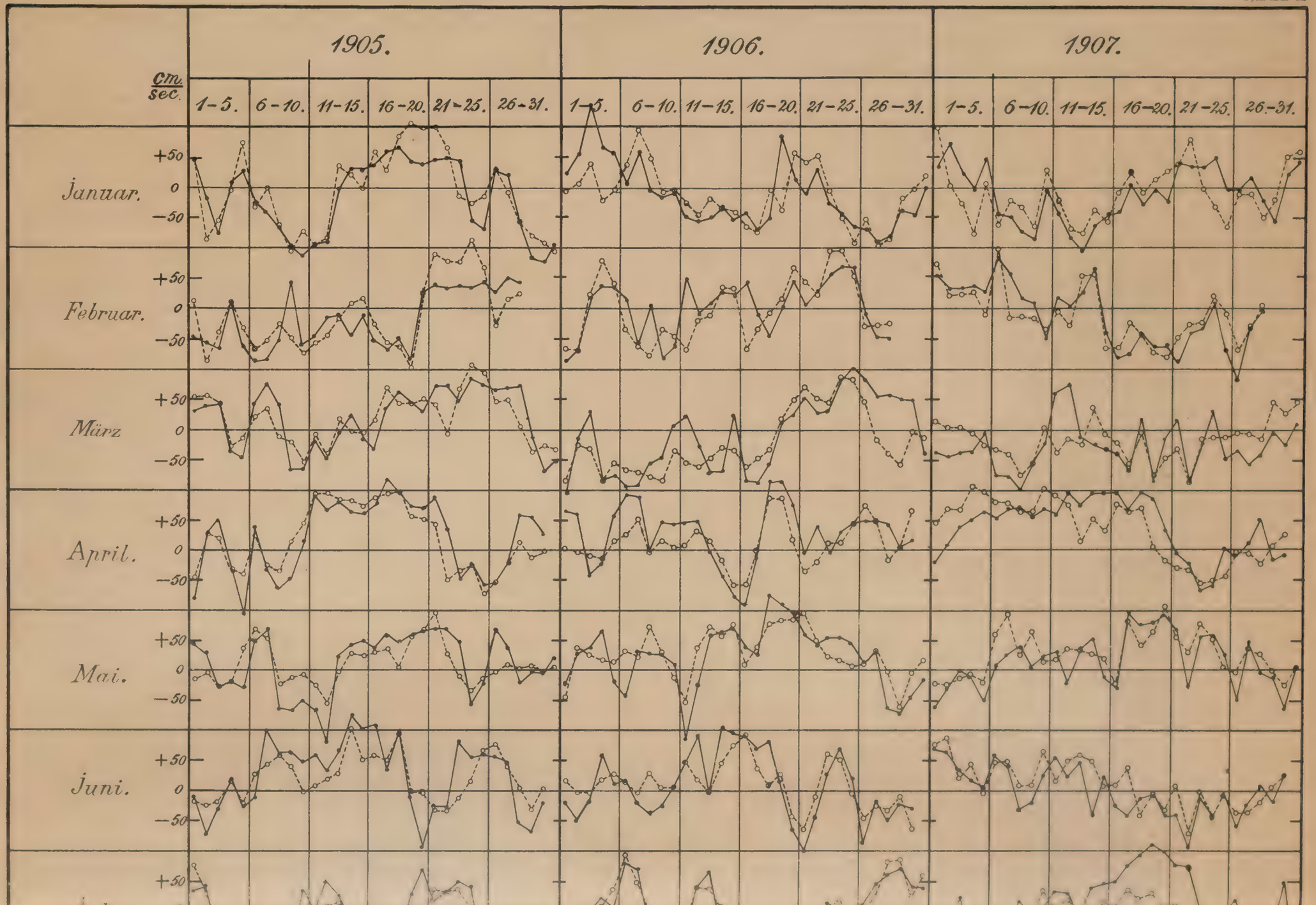

100
50
0
100
cm
sec.

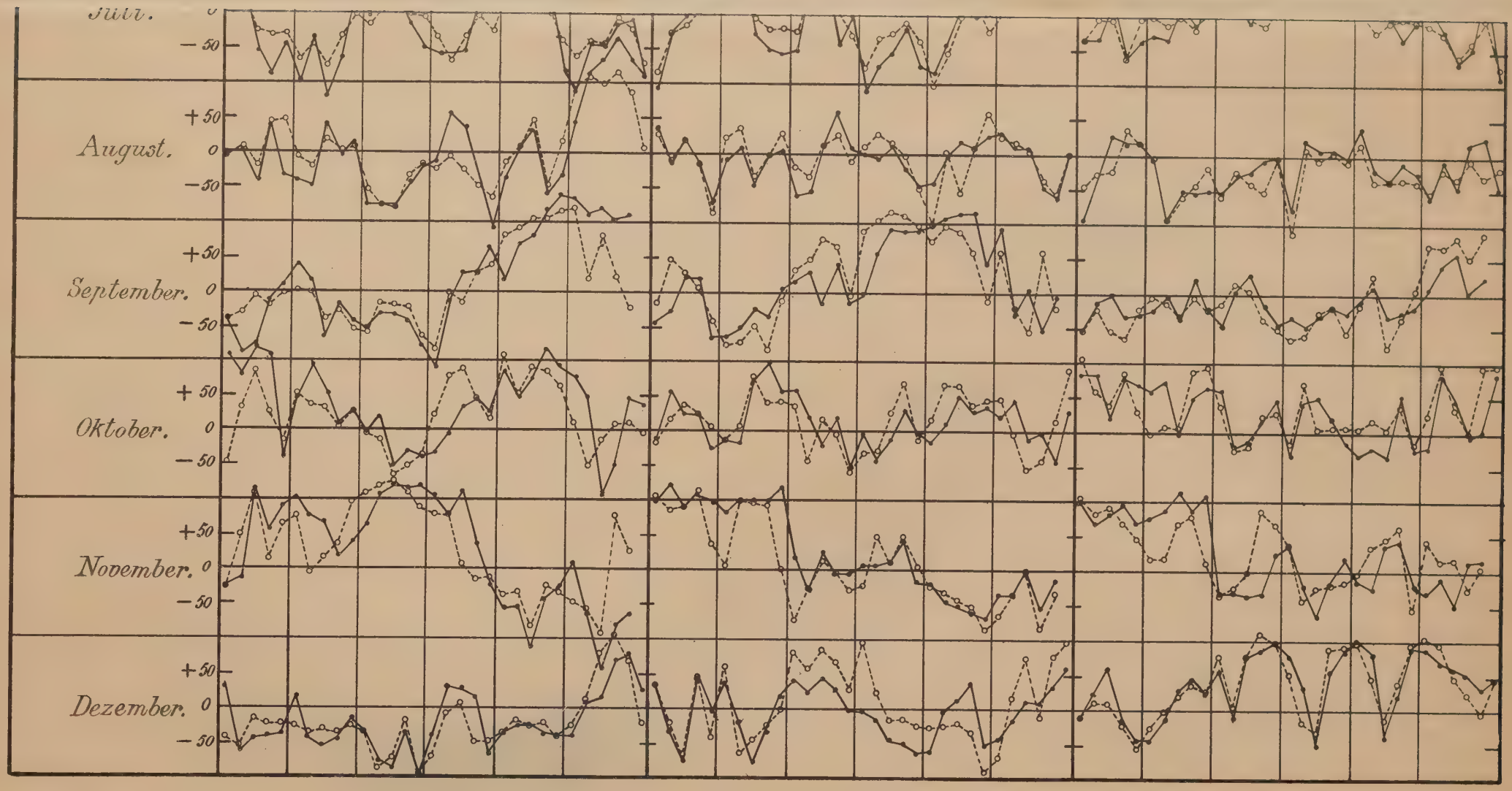
# Tagesmittel der Ströme beim Feuerschiff *Skagens Rev.*

Die Resultante der Ströme nach S68W—N—N68O (missw.) ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet.
— — — — N68O—O—S68W — — einwärtsgehender — —

Die Differenz a—e zwischen dem auswärtsgehenden Strom a und dem einwärtsgehenden Strom e ist durch die Kurve wiedergegeben,
Der aus dem Winde bei dem Feuerschiff Skagens Rev berechnete Wert der nämlichen Grösse ist durch die Kurve wiedergegeben.

TAFEL X



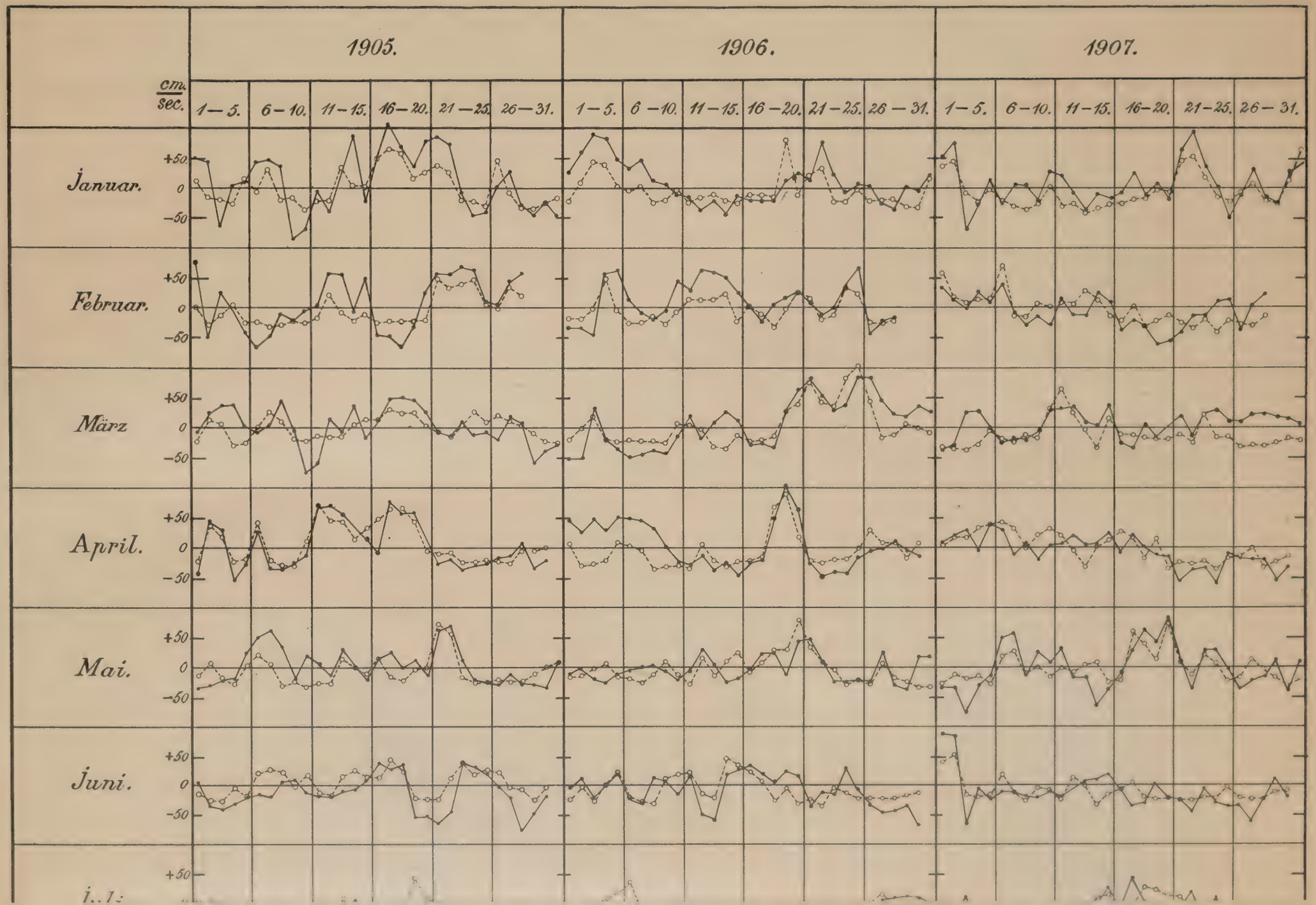

Juli.
August.
September.
Oktober.
November.
Dezember.
+50
0
−50

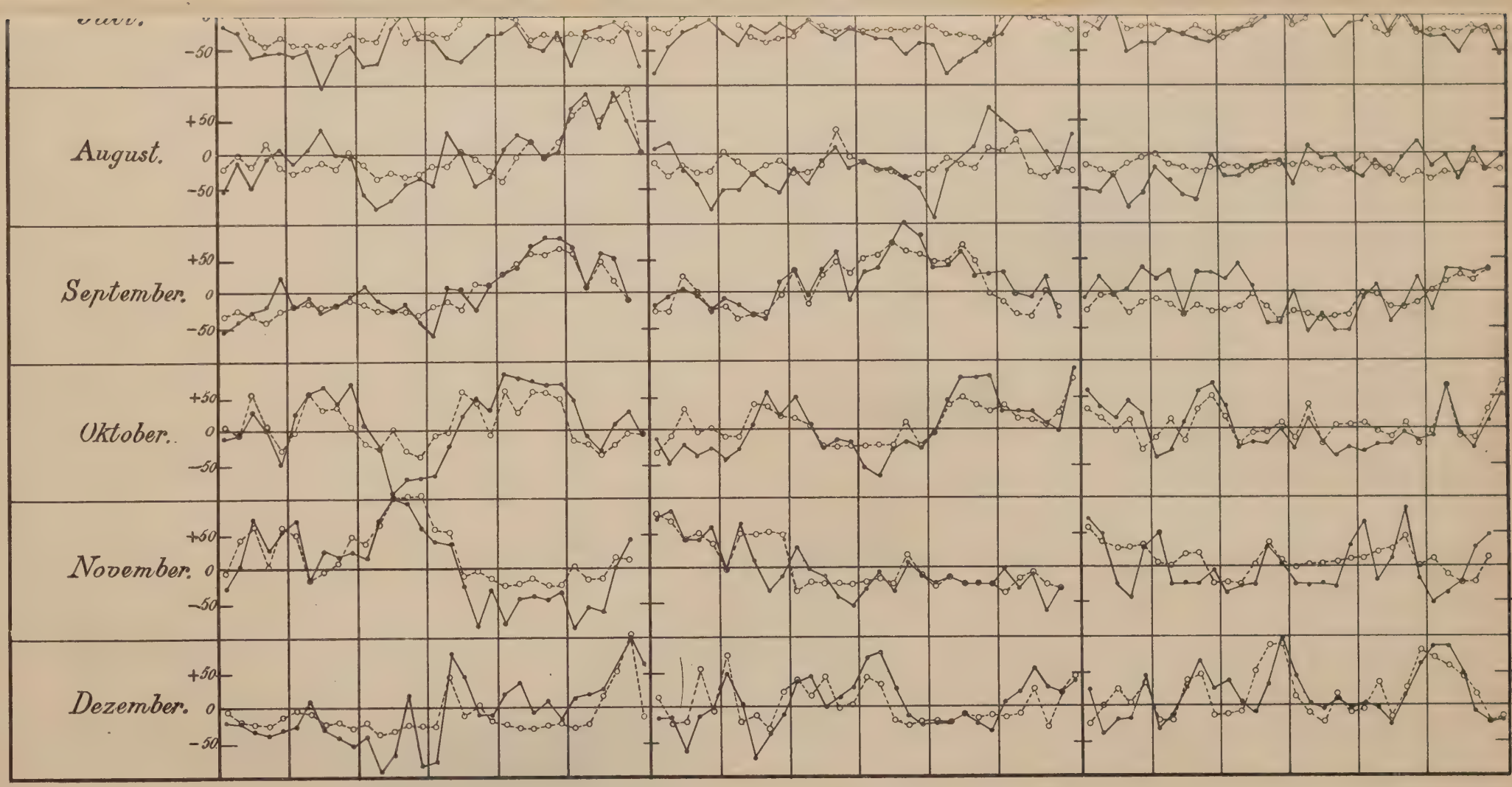
## Tagesmittel der Ströme bei dem Feuerschiff *Anholt Knob.*

Die Resultante der Ströme nach W—N—O (missw.) ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet.
— — — — O—S—W — — einwärtsgehender — —

Die Differenz a—e zwischen dem auswärtsgehenden Strom a und dem einwärtsgehenden Strom e ist durch die Kurve wiedergegeben.
Der aus dem Winde beim Feuerschiff Anholt Knob berechnete Wert der nämlichen Grösse ist durch die Kurve wiedergegeben.

TAFEL XI



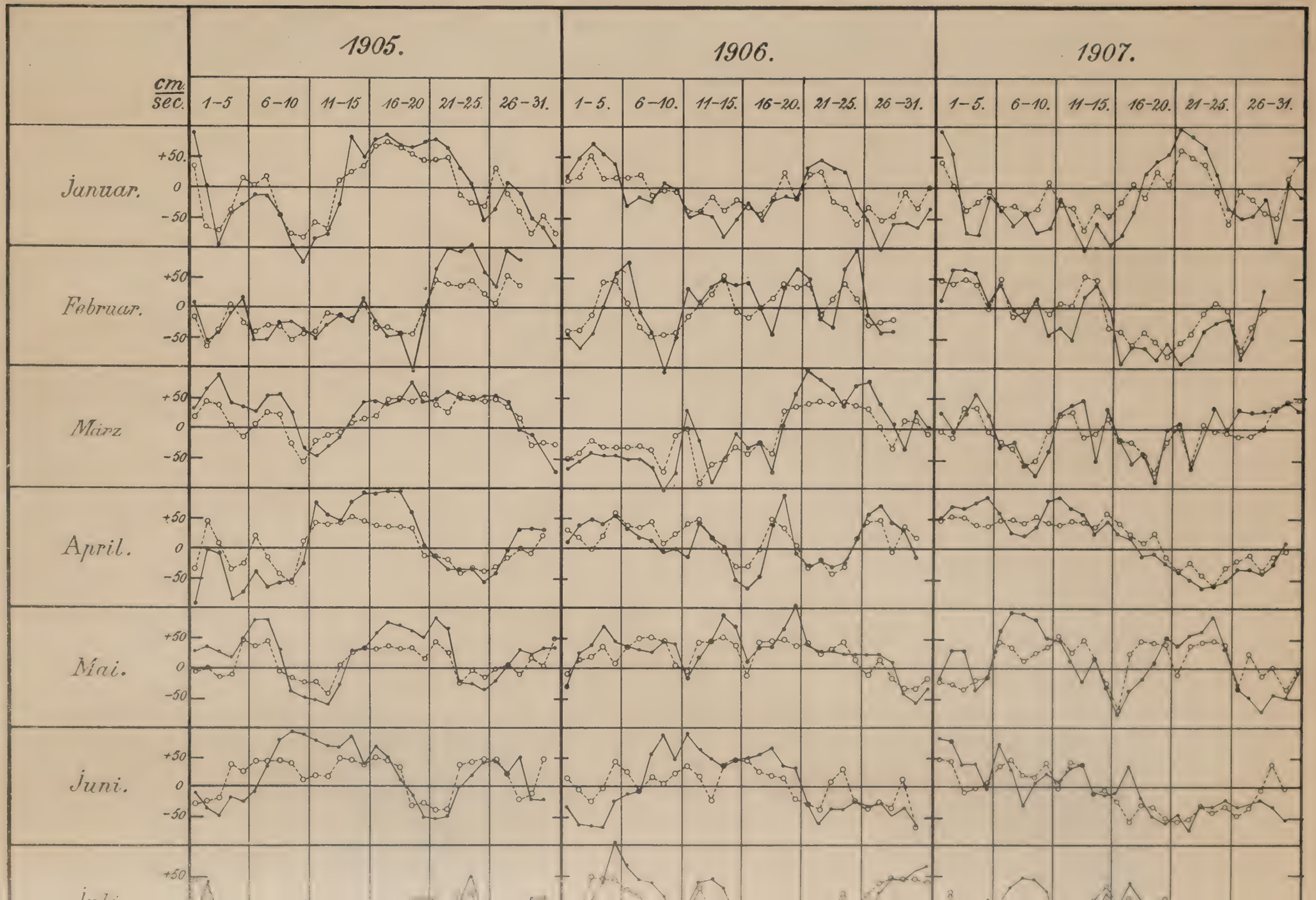

-50
August.
+50
0
-50
September.
+50
0
-50
Oktober.
+50
0
-50
November.
+50
0
-50
Dezember.
+50
0
-50

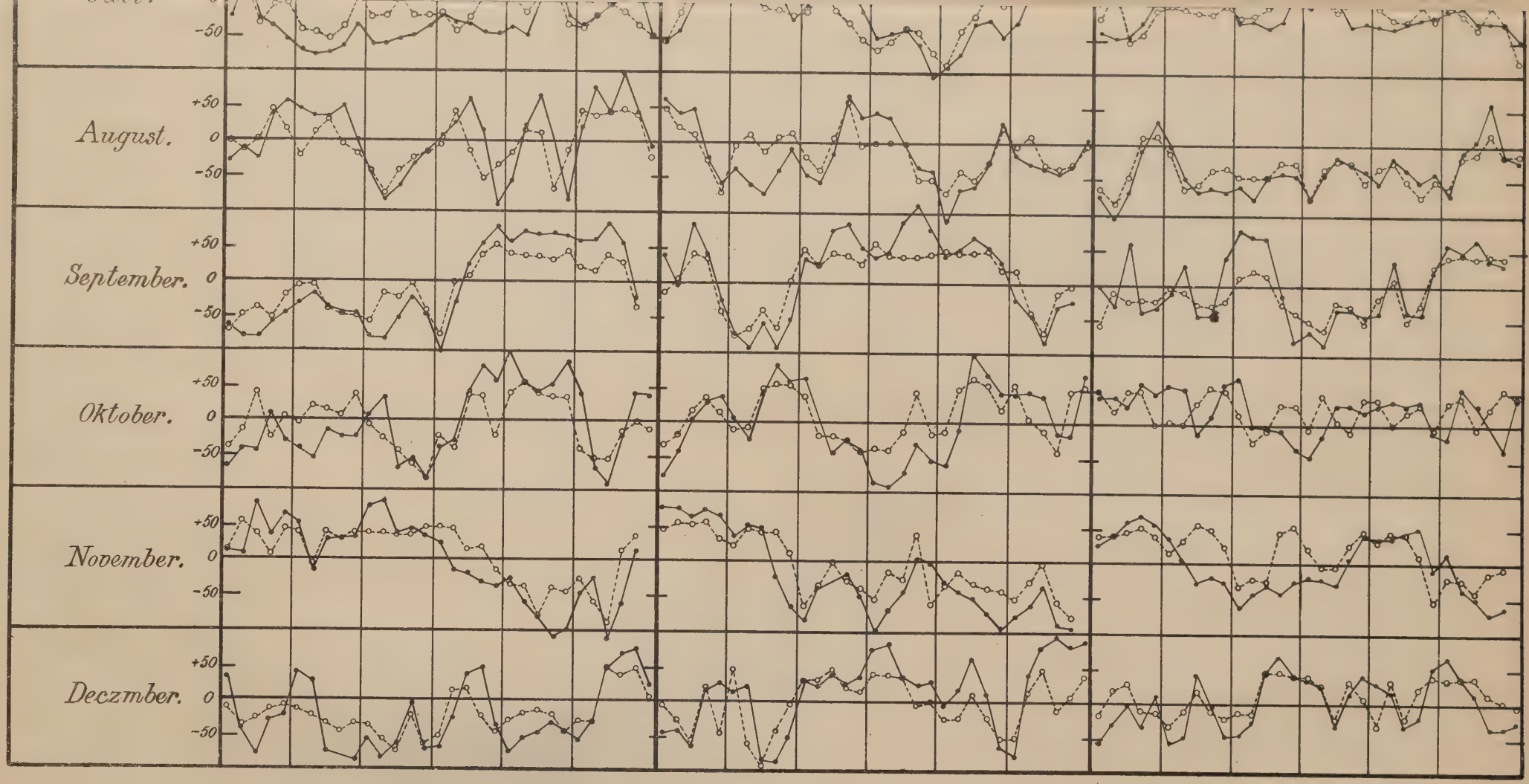
## Tagesmittel der Ströme bei dem Feuerschiff *Schultz' Grund.*

Die Resultante der Ströme nach N11W—O—S11O (missw.) ist als auswärtsgehender Strom bezeichnet.
— — — — S11O—W—N11W — — einwärtsgehender — —

Die Differenz a--e zwischen dem auswärtsgehenden Strom a und dem einwärtsgehenden Strom e ist durch die Kurve wiedergegeben.
Der aus dem Winde bei dem Feuerschiff Schultz' Grund berechnete Wert der nämlichen Grösse ist durch die Kurve wiedergegeben.

TAFEL XII




-50
August.
+50
0
-50
September.
+50
0
-50
Oktober.
+50
0
-50
November.
+50
0
-50
Deczmber.
+50
0
-50

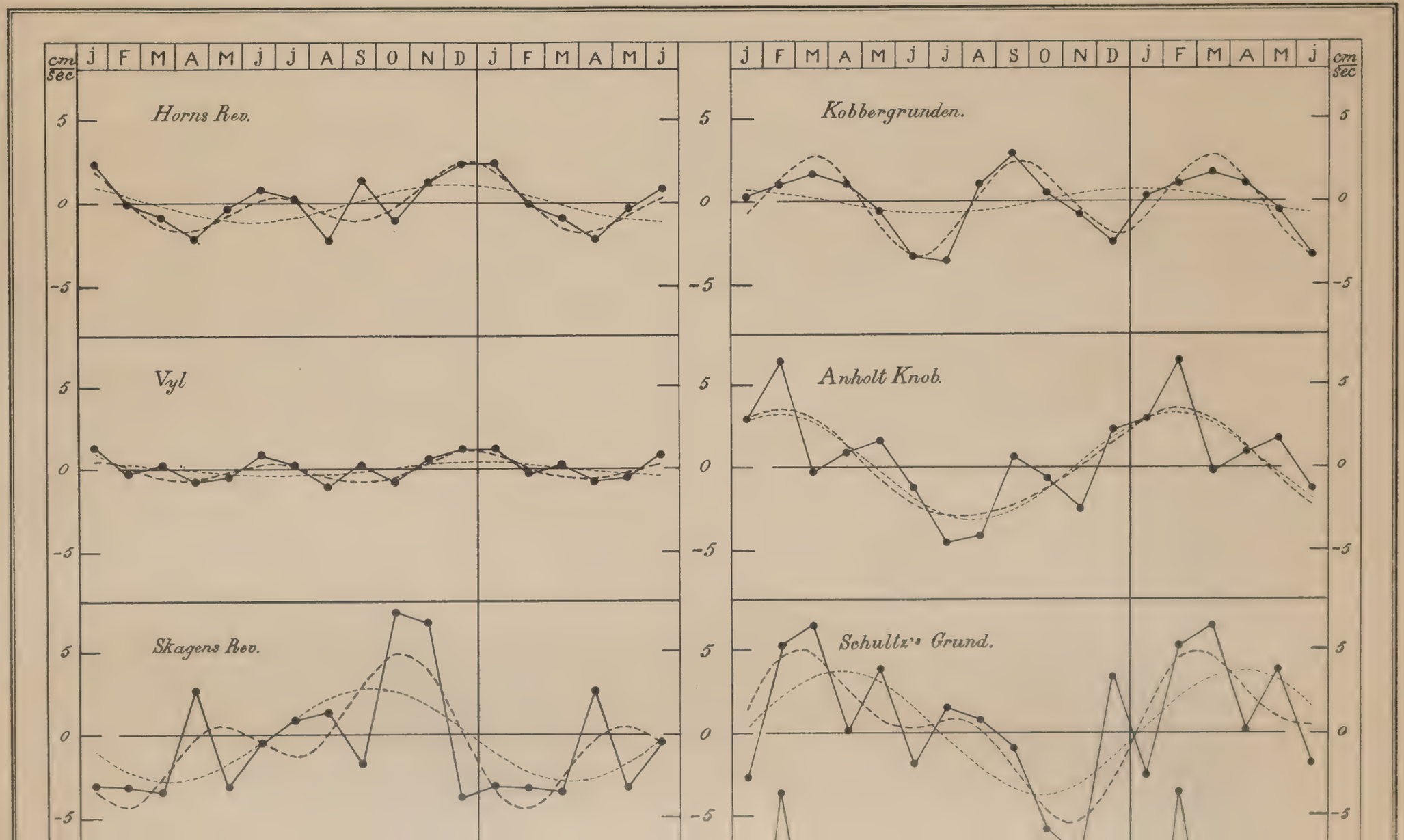
## Jährliche Periode des Oberflächenstroms.

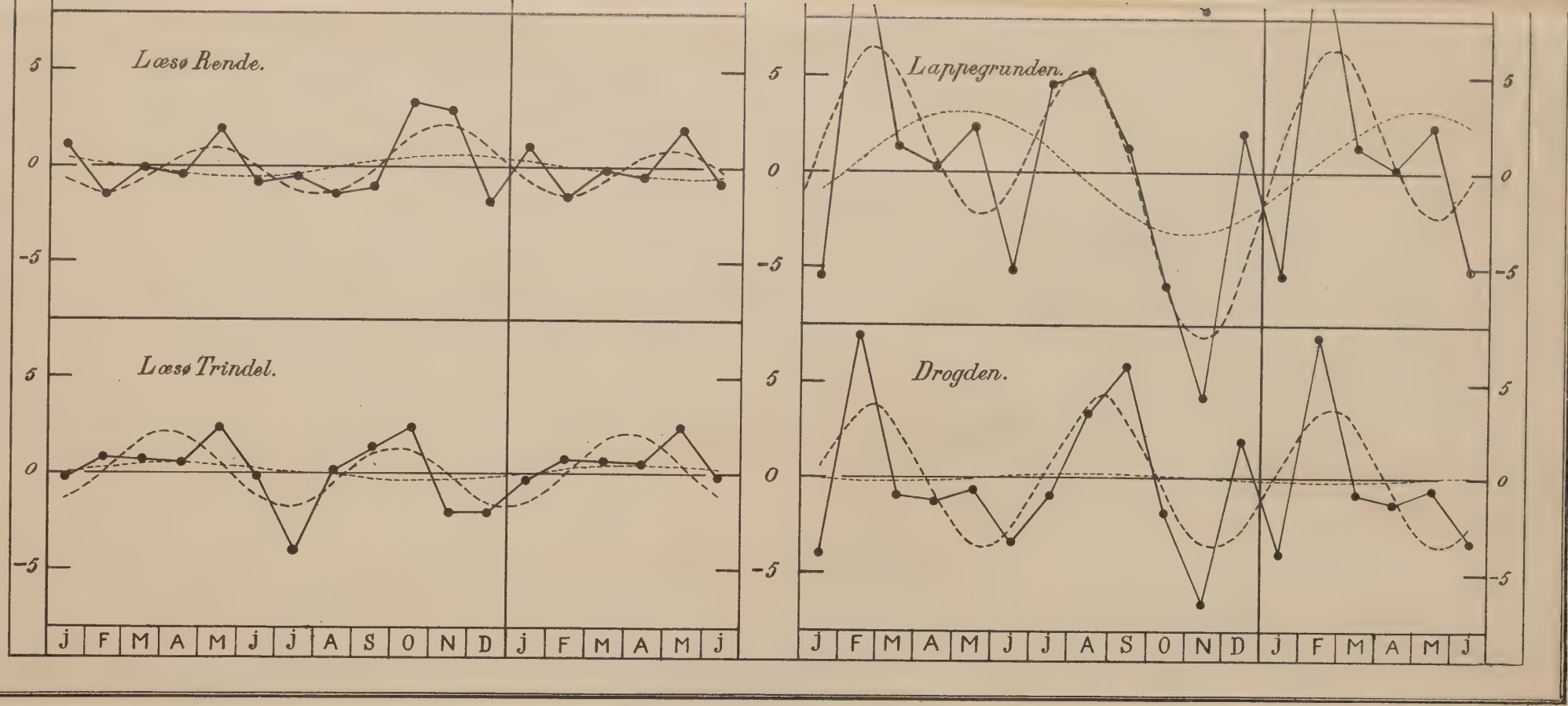
Die Kurven bezeichnen mittlere Zahlen der Monate der Periode 1897—1908 aus dem Unterschied zwischen Monatsmitteln der beobachteten Ströme und den aus dem Winde berechneten Werten derselben.

Die Kurven bezeichnen die auf Grund obiger Mittel ( ) durch harmonische Analyse gefundene jährliche Periode.

Die Kurven bezeichnen die auf Grund der nämlichen Mittel durch harmonische Analyse gefundene Summe einer ganzjährigen und einer halbjährigen Periode.

TAFEL XIII

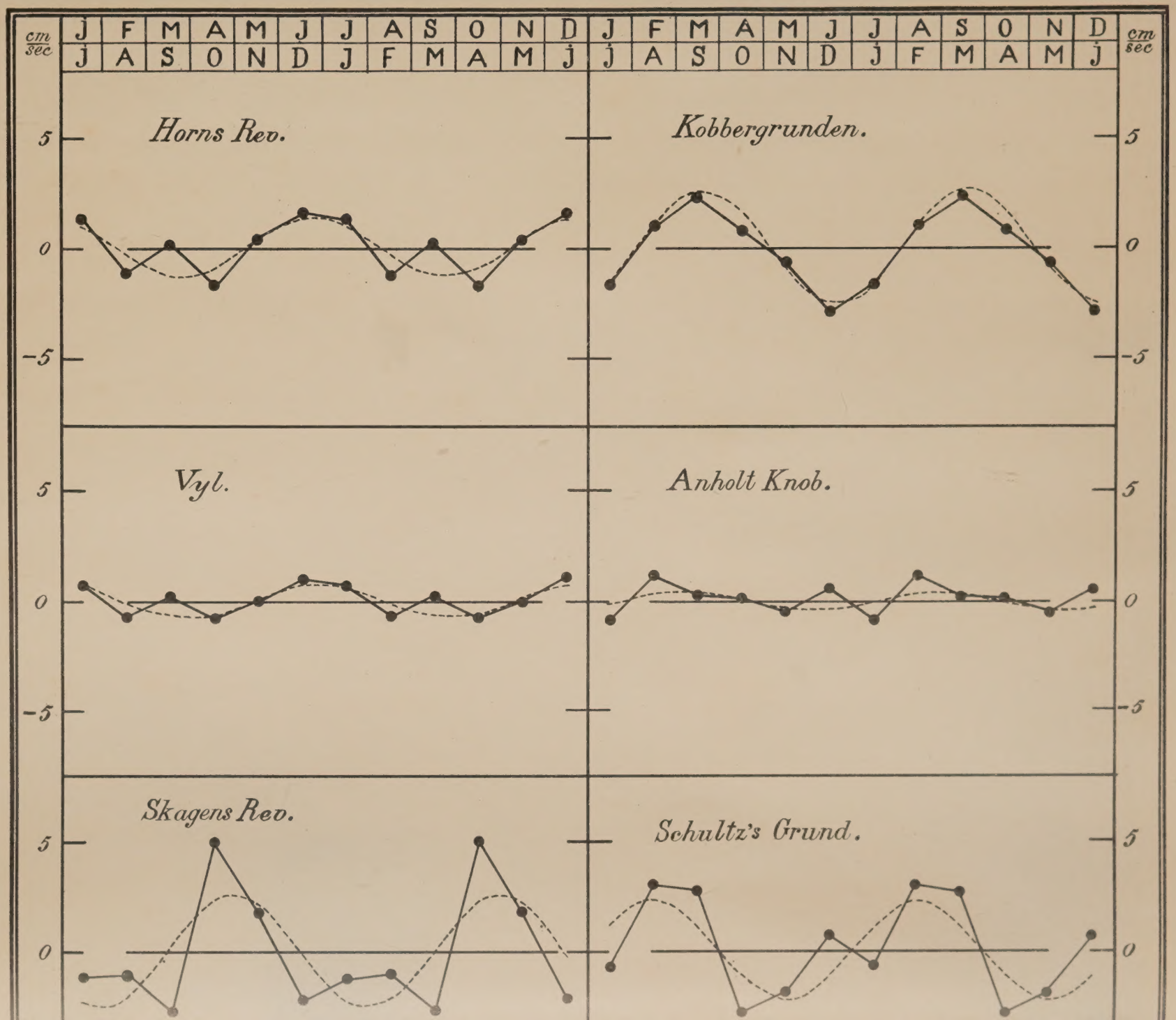


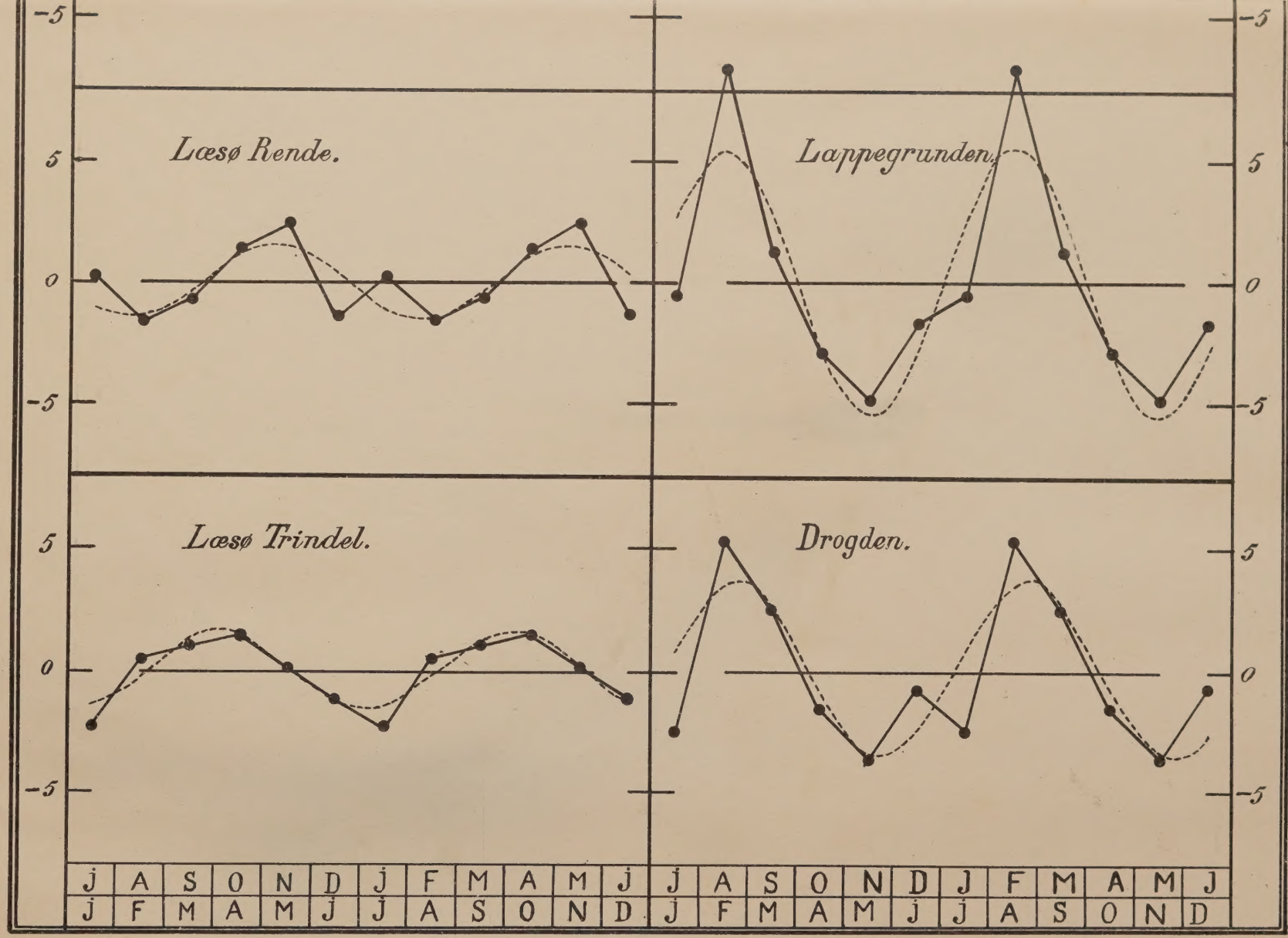

Læsø Rende.
Læsø Trindel.
Lappegrunden.
Drogden.
5
0
-5
J F M A M J J A S O N D J F M A M J

Die Kurven bezeichnen mittlere Zahlen aller Monate Januar und Juli, Februar und August, März und September u. s. w. 1897—1908 aus dem Unterschied zwischen Monatsmitteln der beobachteten Ströme und den aus dem Winde berechneten Werten derselben.

Die Kurven bezeichnen die auf Grund obiger Mittel ( ) durch harmonische Analyse gefundene halbjährige Periode.

TAFEL XIV


cm/sec
J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J
J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J
Horns Rev.
Kobbergrunden.
Vyl.
Anholt Knob.
Skagens Rev.
Schultz's Grund.
5
0
-5


Læsø Rende.
Lappegrunden.
Læsø Trindel.
Drogden.
5
0
-5
J A S O N D J F M A M J
J F M A M J J A S O N D